



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MARKUS LEINO
TUOTANTOTOIMINNAN KEHITTÄMINEN VARASTONHALLINAN
AVULLA

Diplomityö

Tarkastaja: yliopistonlehtori Rainer Breite
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Talouden ja rakentamisen tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 27. elokuuta 2018

TIIVISTELMÄ

Markus Leino: Tuotantotoiminnan kehittäminen varastohallinnan avulla

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 56 sivua, 6 liitesivua

Marraskuu 2018

Johtamisen ja tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotalous

Tarkastaja: yliopistonlehtori Rainer Breite

Avainsanat: varastohallinta, operaatiotutkimus, abc-analyysi, taloudellinen erä-koko, taloudellinen valmistuserä

Lanka ja Muovi Oy on muovipinnoitettujen teräslankatuotteiden johtavia valmistajia Pohjoismaissa. Tässä tutkimuksessa tutkitaan, miten varastohallinnan avulla voidaan parantaa tuotannon tehokkuutta.

Tutkimuksen teoriaosuudessa käytettiin käsiteanalyttistä tutkimusotetta. Kappaleessa 2 kuvataan varastohallintaa ja sen merkitystä. Lisäksi kuvataan varaston luokittelun ja mittaamisen sekä varaston täydentämisen työkaluja. Teoriaosuuden tarkoituksena on antaa kuva siitä mitä varastohallinta on ja mikä on sen merkitys yrityksille. Kappaleessa 3 kuvataan operaatiotutkimuksen taustaa ja periaatteita sekä miten lineaarisia optimointimalleja voidaan käyttää ongelmien ratkaisussa.

Käytyjen teorioiden pohjalta tehtiin tutkimuksen pohjaksi yrityksen itse valmistamien tuotteiden ABC-analyysi. ABC-analyysin pohjalta tutkittiin varastoon sidottua pääomaa, varaston kiertonopeutta ja riittoa sekä määriteltiin neljälle esimerkkituotteelle taloudellinen tuotantoerä. ABC-analyysi ja varaston kiertonopeus saatiin suoraan yrityksen ERP-järjestelmästä. Lisäksi asetuskustannuksista tehtiin kysely asentajille, jotta saatiin esimerkkituotteille asetuskustannukset.

Tutkimuksen avulla saatiin kuva yrityksen nykytilasta ja löydettiin myös kehityskohteita. Varastonkiertonopeus on hyvällä tasolla, mutta riiton perusteella varaston keskimääräiset määrät ovat ABC-analyysin luokilla kirjallisuuden perusteella hieman liian korkeat. Tutkimuksessa määriteltiin neljälle esimerkkituotteelle taloudelliset tuotantoerät, joita on tarkoitus käyttää yhdessä edellä mainittujen menetelmien kanssa varastohallinnan ja tuotannon kehittämiseen. Tutkimuksen perusteella kaavalla laskettu EPQ alennettuna 60% antaa eräkojoja, jotka sopivat yhteen myös nimikkeiden riiton ja keskivaraston kanssa.

ABSTRACT

Markus Leino: Production development through inventory management
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 56 pages, 6 Appendix pages
November 2018
Master's Degree Programme in Information Technology
Major: Industrial Management
Examiner: university lecturer Rainer Breite

Keywords: inventory management, operation research, ABC-analysis, economic order quantity, economic production quantity

Lanka ja Muovi Oy is among the leading manufacturers of plastic coated steel wire products in Nordic countries. In this thesis research was made on how inventory management can be used to improve production efficiency.

In the theoretical part of this thesis conceptual analysis is being used. Inventory management and meaning to production planning is described in chapter 2. Addition to that there is also described different methods for inventory classification, inventory measurement and inventory restocking. The meaning of the theoretical part is to give an understanding of what is inventory management and what is its meaning to companies. In chapter 3 there is described the background and methods of operations research and also how linear optimization models can be used to solve problems.

Based on theories in chapters 2 and 3 an ABC-analysis was made for manufactured products. ABC-analysis was the basis when studying tied-up capital in inventory, stock turn-over, stock cover and economic production quantity. EPQ was made for four example products. ABC-analysis and stock turn-over were taken straight from ERP system. A simple enquiry was made to get setup times for example products.

This thesis gave a good overall picture from company's current state and also some development targets were found. Stock turn-over was in a good level, but based on stock cover, the average stock levels for ABC-analysis classes are a bit too high based on literature. Economic production quantities were also calculated for mentioned example products which are going to be used addition to previous mentioned methods to develop inventory management and production. Based on this study calculated EPQ – 60% gives batch sizes that are in line with stock cover and average inventory value.

ALKUSANAT

Aloitin diplomi-insinöörin opiskelut tammikuussa 2015. Aluksi olin kokopäiväinen opiskelija, mutta saadessani hyvän työpaikan Lanka ja Muovi Oy:stä, muuttui opiskelu työn ohella suoritettavaksi. Siinä on ollut omat haasteensa, kun on yrittänyt sovittaa DI-tutkinnon opiskelut työn ja perhe-elämän mukaan. Sen huomasin, että työn ohella opiskelu vaati selvästi parempaa ajanhallintaa, kuin täysipäiväinen opiskelu. Kun aloitin opiskelun, sain ensimmäisenä lukukautena yli 30 opintopistettä suoritettua. Työn ohella opiskellessani tahti selvästi hidastui, koska monen kurssin samanaikainen suorittaminen kaikkine harjoitustöineen ja tentteineen ei vain ajankäytöllisesti ollut mahdollista. Mutta nyt voin vihdoin ja viimein sanoa, että olen saanut nämä opinnot päätökseen ja valmistuminen on edessä.

Tämä diplomityö on tehty Lanka ja Muovi Oy:lle. Lanka ja Muovin puolesta työn ohjaajana toimi toimitusjohtaja Aki Pohjanlehto. Työn ohjaajana sekä tarkastajana TTY:n yliopistonlehtori Rainer Breite.

Haluan kiittää Lanka ja Muovi Oy:n omistajia, joilta sain aiheen ja kannustusta opinnäytetyöni tekemiseen. Lisäksi haluan kiittää ohjaajaani yliopistonlehtori Rainer Breitea, joka on auttanut minua työn tekemisessä ja jaksanut kärsivällisesti kommentoida diplomityötä matkan varrella. Suuret kiitokset myös perheelleni, jonka yhteisestä ajasta on kaikki nämä koulun läpikäymiseen käytetyt tunnit olleet pois. Erityisesti kiitokset vaimolleni Maijalle, joka ymmärsi kuinka paljon diplomityö vaati aikaa ja jaksoi tsemptata minua työn tekemisen aikana.

Diplomityön tekeminen on ollut kokonaisuudessaan haastavaa. Välillä on tuntunut, että työ menee hyvin eteenpäin ja välillä taas, että se ei etene mihinkään. Diplomityö on ollut kuitenkin mielenkiintoinen projekti, jonka aikana on huomannut, kuinka teoriasta voidaan saada jotain konkreettista aikaiseksi.

Porissa, 15.11.2018

Markus Leino

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Lanka ja Muovi Oy	2
1.2	Markkinatilanne ja kehitystarve	2
1.3	Tutkimuksen tavoite ja rajaus	3
1.4	Tutkimuskysymykset	4
1.5	Työn rakenne ja menetelmät	4
2.	VARASTONHALLINTA	6
2.1	Varaston määritelmä	6
2.2	Toiminnanohjaus	7
2.3	Varastohallinta ja sen merkitys toiminnoille	8
2.4	Varastoinnin kustannukset	11
2.5	Varaston luokittelu ja mittaaminen	12
2.5.1	ABC-analyysi	12
2.5.2	Varaston kiertonopeus ja riitto	14
2.6	Varaston täydentäminen	16
2.6.1	Perusvarastomalli	16
2.6.2	Erätuotantomalli	17
2.6.3	Taloudellinen erä koko (EOQ)	18
2.6.4	Taloudellinen tuotantomäärä (EPQ)	20
2.7	Varastojen rooli tuotannonohjauksessa	21
2.8	ABC-EPQ-varasto-ohjautuva tuotanto	22
3.	OPERAATIOTUTKIMUS	23
3.1	Operaatiotutkimuksen tausta ja periaate	23
3.1.1	Operaatiotutkimuksen vaiheet	23
3.2	Lineaarisen optimointimallin käsitteitä	24
3.3	Aikalajit	27
4.	AINEISTO JA MENETELMÄT	29
5.	KYSELYN JA TIEDONHAUN TULOKSET	31
5.1	ABC-analyysin tulokset	31
5.2	Asetusaika tulokset	33
6.	TULOSTEN ANALYSOINTI	34
6.1	ABC-analyysin tulosten analysointi	34
6.2	ABC-luokkiin sitoutunut pääoma	35
6.3	ABC-luokkien kiertonopeus	36
6.4	ABC-luokkien riitto	37
6.5	Taloudellinen valmistuserä	38
6.6	Asetusaikojen vaikutus taloudelliseen tuotantoeraan	47
6.7	Tulosten yhteenveto	49
6.8	Toimenpide-ehdotukset	52

7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	53
LÄHTEET.....	55
LIITE 1: 2017 NIMIKKEIDEN ANALYYSIT.....	1
LIITE 2: 2018 NIMIKKEIDEN ANALYYSIT.....	4

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Varaston vesitankki esimerkki. (mukaillen Slack et al. 2010).....</i>	<i>7</i>
Kuva 2.	<i>Varastohallinnan sijoittuminen toiminnanohjauksen kenttään. (mukaillen Slack et al.2010).....</i>	<i>9</i>
Kuva 3.	<i>Tyypillinen kaavio ABC analyysistä (mukaillen Krajewski et al. 2005).....</i>	<i>13</i>
Kuva 4.	<i>Riiton rajat ABC-luokille (mukaillen Wild 2011).....</i>	<i>16</i>
Kuva 5.	<i>Varaston profiili ajan kuluessa. (mukaillen Stevenson 2009).....</i>	<i>17</i>
Kuva 6.	<i>Varaston profiili varaston asteittaisessa täydennyksessä (mukaillen Stevenson 2009).....</i>	<i>18</i>
Kuva 7.	<i>Graafinen esitys taloudelliselle eräkoolle (mukaillen Slack et al. 2010).....</i>	<i>19</i>
Kuva 8.	<i>Operaatiotutkimusprosessi (mukaillen Rardin 1998)</i>	<i>24</i>
Kuva 9.	<i>LP-mallin graafinen ratkaisu (mukaillen Taha 2003).....</i>	<i>25</i>
Kuva 10.	<i>LP-mallin graafinen ratkaisu (mukaillen Taha 2003).....</i>	<i>26</i>
Kuva 11.	<i>Aikalajit työntutkimuksessa (mukaillen EK-SAK tuottavuustyöryhmä 2011)</i>	<i>27</i>
Kuva 12.	<i>Lanka ja Muovi Oy:n tilaus-toimitus-prosessi</i>	<i>30</i>
Kuva 13.	<i>Tuote 1 kustannusten graafinen esitys.....</i>	<i>41</i>
Kuva 14.	<i>Tuote 2 kustannusten graafinen esitys.....</i>	<i>43</i>
Kuva 15.	<i>Tuote 4 kustannusten graafinen esitys.....</i>	<i>45</i>
Kuva 16.	<i>Tuote 6 kustannusten graafinen esitys.....</i>	<i>47</i>
Kuva 17.	<i>Tuote 4 asetuskustannuksen muutos kokonaiskustannuksiin.....</i>	<i>49</i>

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	<i>Lanka ja Muovi Oy:n liikevaihdon kehitys</i>	2
Taulukko 2.	<i>ABC-analyysin tulokset 2017</i>	31
Taulukko 3.	<i>ABC-analyysin tulokset 01/2018-09/2018</i>	31
Taulukko 4.	<i>ABC-analyysin A-luokan tuoteryhmät 2017 ja 2018</i>	32
Taulukko 5.	<i>Esimerkkituotteiden asetuskustannukset</i>	33
Taulukko 6.	<i>2017 ABC-analyysin luokkien varastoon sitoma pääoma</i>	35
Taulukko 7.	<i>2018 ABC-analyysin luokkien varastoon sitoma pääoma</i>	35
Taulukko 8.	<i>ABC-luokkien varaston kiertonopeus 2017</i>	36
Taulukko 9.	<i>ABC-luokkien varaston kiertonopeus 2018</i>	36
Taulukko 10.	<i>ABC-luokkien varaston riitto 2017</i>	38
Taulukko 11.	<i>ABC-luokkien varaston riitto 2018</i>	38
Taulukko 12.	<i>Tuote 1 kustannukset eri tuotantoerille</i>	40
Taulukko 13.	<i>Tuote 2 kustannukset eri tuotantoerille</i>	42
Taulukko 14.	<i>Tuote 4 kustannukset eri tuotantoerille</i>	44
Taulukko 15.	<i>Tuote 6 kustannukset eri tuotantoerille</i>	46
Taulukko 16.	<i>Tuote 4 kustannukset eri tuotantoerille (asetuskustannukset -50%)</i>	48
Taulukko 17.	<i>Esimerkkituotteiden kiertonopeus, riitto, EPQ, EPQ-60%</i>	50
Taulukko 18.	<i>Esimerkkituotteiden kooste 2</i>	50
Taulukko 19.	<i>Esimerkkituotteet EPQ vs riitto</i>	51
Taulukko 20.	<i>Esimerkkituotteiden alennettu EPQ vs keskivarasto</i>	51
Taulukko 21.	<i>Nimikkeiden A-luokan ABC-analyysi, kiertonopeus ja riitto 2017</i>	1
Taulukko 22.	<i>Nimikkeiden A-luokan ABC-analyysi, kiertonopeus ja riitto 2018</i>	4

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise Resource Planning system)
EBQ	Taloudellinen eräko (Economic Batch Quantity)
EMQ	Taloudellinen valmistus koko (Economic Manufacturing Quantity)
EOQ	Taloudellinen tilauskoko (Economic Order Quantity)
EPQ	Taloudellinen tuotanto määrä (Economic Production Quantity)
JIT	Juuri oikeaa aikaan-tuotanto (Just in Time)
LP -malli	Lineaarinen optimointimalli (Linear Programming)
MTO	Tilaus-ohjautuva tuotanto (Make to Order)
MTS	Varasto-ohjautuva tuotanto (Make to Stock)
POQ	Tuotannon tilaus määrä (Production Order Quantity)

1. JOHDANTO

Yrityksen menestys riippuu sen kyvystä tuottaa palveluita ja tuotteita asiakkaille tai käyttäjille ja pysyä taloudellisesti vakaana. Organisaatiolle, joka toimittaa tuotteita asiakkaille, päätoiminto on pitää oikeita tuotteita saatavilla sopivaan hintaa järkevällä ajanjaksolla (Wild 2011). Yrityksillä on kuitenkin usein kaksijakoinen asenne varastoja kohtaan. Ensinnäkin ne voivat sitoa huomattavia määriä pääomaa. Varastot ovat myös riski, koska varastoitavat nimikkeet voivat mennä vanhaksi, hukkua ja lisäksi ne vievät arvokasta tilaa muilta toiminnoilta. Toisaalta ne luovat turvallisuutta epävarmoissa ympäristöissä, jolloin voidaan toimittaa tuotteita varastosta heti kun asiakastarve ilmaantuu (Slack et al. 2010).

Varastonhallinta on tärkeää kaiken tyyppisille yrityksille. Tehokas varastonhallinta on pakollinen, jotta voidaan saavuttaa minkä tahansa arvoketjun täysi potentiaali (Krajewski et al. 2005). Varaston hyvä hallinta edesauttaa yrityksiä parantamaan asiakaspalvelua, kassavirtaa ja tuottavuutta (Wild 2011).

Tämän diplomityön tehtiin Lanka ja Muovi Oy:lle, jossa myös itse työskentelen tuotanto- ja kehitysinsinöörinä. Lanka ja Muovi on pitkät perinteet omaava yritys, joka valmistaa erilaisia muovipinnoitettuja teräslankatuotteita ja ruiskuvalettuja muovituotteita. Lanka ja Muovin liikevaihto on pysynyt melko tasaisena viimeiset kolme vuotta ja tulokset kehitys on ollut rohkaisevaa. Yritys toimii toimintaympäristössä, jossa on kilpailua sekä kotimaassa, että ulkomailta. Iso kysymys onkin miten siihen kilpailuun vastata?

Varastoissa on paljon pääomaa kiinni ja on erittäin tärkeää, että tiedetään mitä varastossa on ja miten ne vaikuttavat yrityksen toimintaan. Valmistavilla yrityksillä usein tuotanto tekee tuotteita varastoon oman parhaan näkemyksensä mukaan ajattelematta, miten se vaikuttaa varastonhallintaa ja sitä kautta koko yrityksen tulokseen. Valmistetaan oikeita tuotteita ja oikeita määriä. Näihin varastonhallinnan avulla voidaan vastata. Tuotantotoimintaa voidaan kehittää varastonhallinnan kautta, jolloin valmistetaan oikeita tuotteita oikeaan aikaan ja oikea määrä.

Tämä tutkimus keskittyy Lanka ja Muovi Oy:n varaston nykytilan arviointiin ja analysointiin, joiden perusteella voidaan kehittää tuotantotoimintaa. Tämä tutkimuksen päälähtökohta oli ABC-analyysi, joka on avaintyökalu varastoitavien nimikkeiden luokittelussa. Pelkästään ABC-analyysin perusteella saadaan kehitystä tuotantoon, kun tiedetään mikä on nimikkeiden tärkeys yritykselle.

1.1 Lanka ja Muovi Oy

Lanka ja Muovi on muovipinnoitettujen teräslankatuotteiden johtavia valmistajia Pohjoismaissa. Yrityksellä on vuonna 1955 perustettu perheyritys, jolloin liiketoiminta alkoi teräslanka- ja muovituotteilla. Yrityksen ensimmäiseksi tuotteeksi kehiteltiin ruoanvalmistukseen tarkoitettu vispilä. Lanka ja Muovi Oy:n teräslankatuotteista tärkeimpiä ovat kodin säilytysjärjestelmät, kuten kaapeista ulosliukuvat lankakorit ja keittiöjätteiden lajittelujärjestelmät.

Asiakkaina ovat pääasiassa rautakaupat, marketit, muovialan erikoisliikkeet, sisustusliikkeet sekä eri teollisuuden alat mm. keittiökaluste-, huonekalu-, kylmäkaluste- sekä metalli- ja elektroniikkateollisuus. Yrityksellä on oma verkkokauppa, joka palvelee suoraan kuluttajia. Suomi on päämarkkina-alue tällä hetkellä. Lisää kasvua haetaan myös ulkomailta, erityisesti pohjoismaista.

Yrityksen liikevaihto on taantuman jälkeen lähtenyt kasvuun (taulukko 1) ja kasvun odotetaan jatkuvan myös seuraavina vuosina.

Taulukko 1. Lanka ja Muovi Oy:n liikevaihdon kehitys

	2014/12	2015/12	2016/12	2017/12
Liikevaihto (tuhatta euroa)	3280	3373	3760	3993
Liikevaihdon muutos %	-3,4 %	2,8 %	11,5 %	6,2 %
Tilikauden tulos (tuhatta euroa)	35	100	391	176
Liikevoitto %	-1,9 %	2,5 %	8,9 %	5,5 %
Henkilöstö	44	43	43	44

Lanka ja Muovi Oy:n tärkeimpiä kilpailuvaltteja ovat kotimaisuus, laadukkaat tuotteet, ja vahva ammattitaito. Oma 3D-suunnitteluosaaminen antaa Lanka ja Muovi Oy:lle mahdollisuuden tuotteiden suunnitteluun suoraan asiakkaan kanssa.

1.2 Markkinatilanne ja kehitystarve

Lanka ja Muovi joutuu kilpailemaan sekä kotimaisten kilpailijoiden, että ulkomaisten kilpailijoiden kanssa. Yrityksen tuotteet ovat vahvasti sidoksissa rakentamiseen, joka taas tuo epävarmuutta huonoina talousaikoina. Toisaalta Lanka ja Muovi tekee alihankintaa eri aloille, joista kaikki eivät ole sidoksissa rakentamiseen. Tämä monipuolistaa tuotevalikoimaa ja asiakaskuntaa ja osaltaan vähentää yksittäisen asiakkaan vaikutusta.

Kova kilpailu sekä kotimaisia, että ulkomaalaisia toimijoita vastaan luo kustannustehokkuuteen paineita. Usein kuitenkin hinta on asiakkaalle tärkeä asia.

Selvin uhka on tuonti ulkomailta. Siihen pystytään vastaamaan pitämällä oma kustannusrakenne kurissa ja jatkuvasti kehittämään tuotantomenetelmiä tehokkaammaksi ja ketterämmiksi. Ajan tasalla oleva tuotantoteknologia on tehokkaan ja kustannustehokkaan toiminnan perusta. Nopeat toimitusajat ovat selvä kilpailuvaltti markkinoilla ja niillä pystytään saamaan etua varsinkin ulkomaan tuontia vastaan.

Kuten aikaisemmin mainittiin, kilpailuun pyritään vastaamaan jatkuvalla toimintojen kehityksellä. Sen vuoksi nyt ollaan alettu miettimään myös varastoinnin merkitystä tehokkuuden parantamiseen.

Lanka ja Muovilla on tuotannossaan käytössä pitkälle automatisoituja soluja ja tuotantokoneita, mutta myös hyvinkin manuaalisia tuotantokoneita. Robottisoluiissa ja muissa automatisoiduissa tuotantokoneissa on pääsääntöisesti pitkät asetusajat, kun muutetaan kone / solu tuotteelta toiselle. Yleisesti näillä koneilla asetusajat vaihtelevat puolesta päivästä aina koko työpäivään. Vastaavasti puoliautomaattisilla ja manuaalisilla tuotantokoneilla asetusajat ovat pääsääntöisesti puolesta tunnista kahteen tuntiin. Juuri nämä seikat mietityttävät, kun tuotteiden työvaiheita kuormitetaan eri koneille. Tällä hetkellä tuotteiden työvaiheiden sijoittamisessa eri tuotantokoneille käytetään parasta arvausta. Esimerkkinä tällaisesta ihan päivittäisestä ajattelusta, kun mietitään teräslankakorin kokoonhittausa. Käytäntö tällä hetkellä on, että jos valmistettava erä on 500 kpl tai jos vuodessa valmistetaan ainakin kaksi erää, korin kokoonhittaus kannattaa tehdä robottisolulla eikä hitaammalla puoliautomaattisella hitsauskoneella. Se, että onko tuo edellä mainittu 500 kpl oikeasti sellainen raja, jolloin tuotteen kokoonhittaus kannattaa suorittaa robottisolussa, ei perustu mihinkään tutkimukseen vaan on paras arvaus.

Yksikkökustannuksia mietittäessä on selvää, että automaattiset tuotantolinjat ovat tehokkaampia kuin manuaaliset työvaiheet. Toisaalta asennuskustannukset ovat automaattilinjalla suuremmat kuin manuaalikoneilla johtuen selvästi suuremmista asetusajoista.

1.3 Tutkimuksen tavoite ja rajaus

Kohdeyrityksessä varastoidaan satoja nimikkeitä. Valmistuotevarastossa varastoitavat nimikkeen ovat kaikki varasto-ohjautuvia. Lisäksi tuotannossa on ns. puolivalmisvarasto, jossa varastoidaan puolivalmiita tuotteita. Puolivalmiit tuotteet tarkoittavat tässä tapauksessa teräslankatuotteita, joista puuttuu enää jauhemaalaus.

Ongelmana on se, että ABC-analyysia ei olla juurikaan käytetty eikä tunneta varaston tuotteiden kiertonopeutta sekä miten näiden avulla voidaan tehokkaammin ohjata tuotantoa. ABC-analyysi kertoo varastohallinnan näkökulmasta tärkeät nimikkeet, joilla on yrityksen tulokseen suurin vaikutus. ABC-analyysin tuotteiden työnkustannuksia tutkimalla voidaan löytää yrityksen kannalta tärkeitä tuotteita ja joiden valmistuksen tehokkuuden parantamisella on suurin vaikutus yrityksen kannattavuuteen.

Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa varaston nykytilanne ja miten varastohallinnan avulla voidaan kehittää tuotantotoimintaa. Varaston nykytilaa kartoitetaan ABC-analyysillä ja sen pohjalta tutkitaan luokkiin sidotun pääoman määrää omakustannushinnan pohjalta. Tällöin nähdään, onko ABC-analyysillä ja sidotun pääoman määrällä ristiriitaa? Eli sitooko vähemmän tärkeät nimikkeet enemmän pääomaa kuin mitä tärkeät nimikkeet. Nykytilan analysointiin kuuluu myös varaston kiertonopeuden selvittäminen ABC-analyysin luokittelun pohjalta. Tarkoituksena on myös luoda malli, jonka avulla voidaan jatkossa määritellä tuotteille optimaaliset eräkoot varastohallinnan näkökulmasta ja toisaalta ottaa huomioon myös, miten se vaikuttaa tuotannon tehokkuuteen.

Koska Lanka Ja Muovi Oy:llä on satoja nimikkeitä varastossa, niin tämän tutkimuksen puitteissa ei ole mahdollista käydä kaikkia läpi. Analyysiin otetaan mukaan yrityksen itse valmistamat tuotteet ja komponentit. Nimikkeiden suuren määrän vuoksi tutkimus rajataan ABC-luokkien analysointiin yksittäisten nimikkeiden sijaan. Tämän lisäksi taloudellista eräkokoja ei lasketa jokaiselle ABC-analyysin nimikkeelle, vaan muutaman A-luokan esimerkkituotteen avulla pyritään löytämään optimaalisen eräkoon malli.

1.4 Tutkimuskysymykset

Tällä hetkellä ei tiedetä tarpeeksi hyvin, miten varastot ja varastointi ohjaavat tuotantoa ja miten varastot pitää ottaa huomioon tuotannon suunnittelussa.

Tästä ongelmasta saadaan tämän tutkimuksen tutkimuskysymys:

Miten ABC-analyysin avulla voidaan kehittää tuotannollista toimintaa?

Tutkimusongelmasta saadaan johdettua seuraavat apukysymykset:

- Mikä on varaston nykytila?
- Miten sidottu pääoma jakautuu ABC-analyysin luokkien kesken?
- Mikä on varaston kiertonopeus ja riitto ABC-analyysin luokkien kesken?
- Millaisella mallilla voitaisiin määritellä tuotteille optimaaliset eräkoot?

1.5 Työn rakenne ja menetelmät

Työ jakautuu kahteen pääosaan: Varastohallinnan teoreettiseen tarkasteluun kirjallisuuden pohjalta sekä nykytilan arviointiin sekä tulosten analysointiin. Luvussa 2 käydään läpi teoreettista viitekehystä, jonka pohjalta hahmotellaan operaatioiden hallintaa sekä sen osana olevan varastohallinnan tärkeyttä yrityksen taloudelliseen menestykseen. Luvussa 3 käydään läpi operaatiotutkimuksen taustaa. Luvussa 4 kuvataan tutkimuksen aineiston keruumenetelmiä. Luvuissa 5 ja 6 esitellään ja analysoidaan työn perusteella saatuja tuloksia ja lopuksi luvussa 7 käydään läpi yhteenveto työn tuloksista sekä johtopäätökset, joita tuloksista voidaan tehdä.

Tutkimuksessa käytettiin tutkimusmenetelminä käsiteanalyttistä tutkimusotetta sekä case- eli tapaustutkimusta. Käsiteanalyttisessä tutkimusotteessa on tarkoituksena muodostaa kokonaisvaltainen käsitys varastonhallinnasta ja sen vaikutuksista yrityksen tuotannon ohjaukseen. Case-tutkimuksessa tutkitaan yksittäistä tapahtumaa, rajattua kokonaisuutta käyttämällä monipuolisia ja eri menetelmillä hankittuja tietoja. Case-tutkimuksessa pyritään tutkimaan, kuvaamaan ja selittämään tapauksia pääasiassa miten- ja miksi-kysymysten avulla. Case-tutkimuksessa on tavoitteena tutkittavalle kohteelle ominaisten piirteiden tarkka, systemaattinen ja totuudenmukainen kuvailu (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006).

Työhön käytettävä data on peräisin Lanka ja Muovin käyttämästä ERP-järjestelmästä, josta saadaan ABC-analyysi ja varaston kiertonopeus raportti suoraan. ERP-järjestelmästä saatujen raporttien perusteella sekä teoriaosuudessa esiteltyjen kaavojen avulla lasketaan varaston riitto sekä taloudellinen tuotantoerä.

2. VARASTONHALLINTA

Tässä luvussa käydään läpi varaston määritelmää ja miten varastonhallinta sijoittuu toiminnanohjauksen alle. Lisäksi käydään läpi lyhyesti toiminnanohjausta sekä mikä on varaston rooli tuotannonohjauksessa. Kappaleessa esitellään erilaisia työkaluja varaston nimikkeiden luokitteluun, mittaamiseen sekä varaston täydentämiseen.

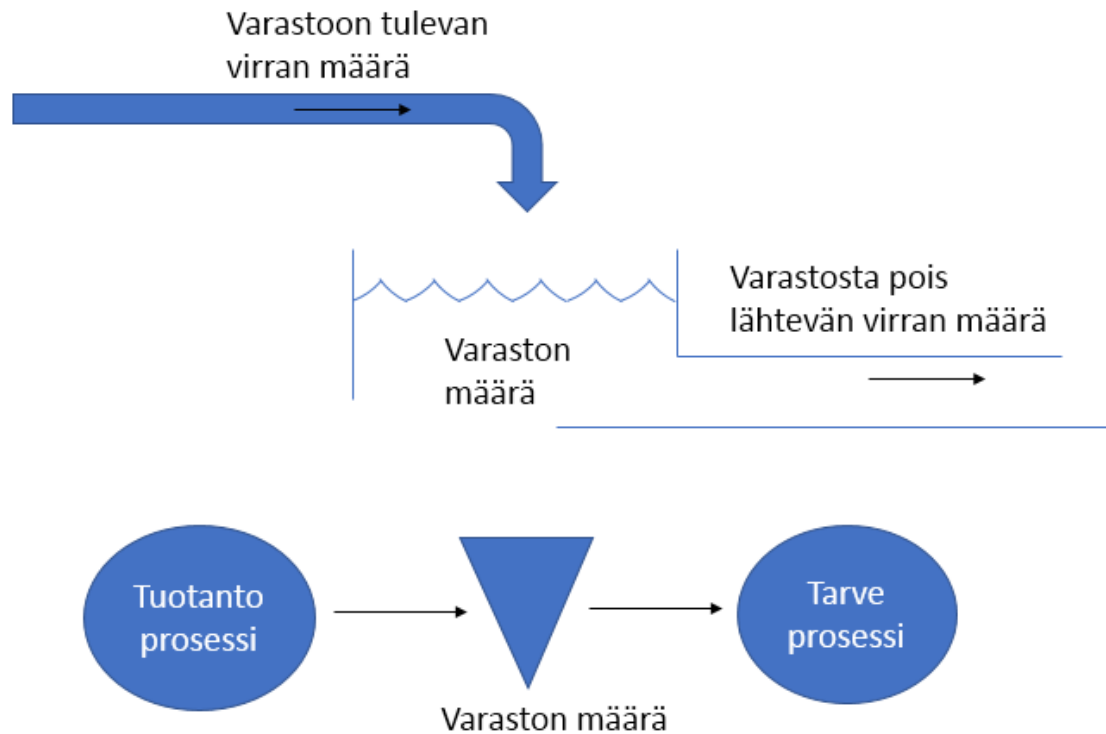
2.1 Varaston määritelmä

Varastolla tarkoitetaan tuotteiden varastointia. Tyypillisesti yrityksillä on varastoituna satoja tai jopa tuhansia eri nimikkeitä. Nämä nimikkeet voivat olla hyvinkin pieniä esineitä, kuten kyniä, klemmareita, ruuveja ja muttereita. Toisaalta varastoidut esineet voivat olla yhtä hyvin koneita, rekkoja ja vaikka lentokoneita. Oli varastossa minkä kokoisia tavaroita vain, liittyvät ne oleellisesti yrityksen liiketoimintaympäristöön (Stevenson 2009). Monille yrityksille on olemassa kahdenlaista varastoa: **Fyysinen varasto**, joka pitää sisällään kaikki materiaalit, jotka vaaditaan lopputuotteen valmistamiseksi. Fyysinen varasto käsittää myös lopputuotteen pakkauksineen. **Looginen varasto**, joka koostuu tietokannoista, varastonhallintajärjestelmistä ja muista informaatiolähteistä (Prater et al. 2012).

Monilla standardituotteita valmistavilla yrityksillä on kolmenlaista varastoa: Raaka-aine ja komponentti varastot, jotka vastaanottavat tuotteita toimittajilta. Raaka-aineet ja komponentit menevät tuotantoprosessin eri vaiheiden läpi, mutta ovat suurimman osan aikaa keskeneräisenä tuotantona ennen kuin saavuttavat valmistuotevaraston (Slack et al. 2010). Varastojen asemointi tukee yrityksen kilpailullisia prioriteetteja. Sijoittamalla varastoa lähemmäksi raaka-aineita, antaa se suurta joustavuutta asiakastarpeisiin vastaamiselle (Krajewski et al. 2005).

Toisaalta ei ole väliä mitä varastoidaan tai missä varastoa pidetään. Se on olemassa, koska markkinoiden tarpeen ja toimituksen välillä on eroja joko ajoituksessa tai määrässä. Jos jonkin tavaran toimitus tapahtuu täsmälleen samaan aikaan kuin asiakastarve ilmaantuu, tuotetta ei tarvitsisi varastoida (Slack et al. 2010).

Kuvassa 2 on esitetty varaston vesitankki malli.



Kuva 1. *Varaston vesitankki esimerkki. (mukaillen Slack et al. 2010)*

Ajan kuluessa tankkiin tulevan veden määrä eroaa tankista lähtevän veden määrästä. Kun halutaan ylläpitää toimituksia, niin tankillinen vettä pitää olla. Kun toimitusten määrä on suurempi kuin tarve, tankin pinta nousee. Kun taas tarve on suurempi kuin toimitukset, tankin pinta laskee. Jos operaatiot onnistuvat sovittamaan yhteen toimitusten ja tarpeen määrät, onnistuvat ne myös vähentämään varaston tasoa (Slack et al. 2010).

Nämä ovat vain muutamia esimerkkejä, mutta niistä saa käsityksen mitä kaikkea voidaan varastoida. Varastonhallinta on erilaista kuin esim. ruokakaupoissa tai sairaaloissa, joissa varastoitavilla tuotteilla on parasta ennen päivämäärä. Jos nyt ajatellaan Lanka ja Muovi Oy:n tuotteita, niin teräslangasta valmistettu ja pinnoitettu lankakori ei mene vanhaksi. Kun taas ruokakaupan tuotteilla on hyvin tarkkaan määritelty säilymisaika.

2.2 Toiminnanohjaus

Toiminnanohjaus aiheena on kiehtova ja ajankohtainen. Tuottavuus, laatu, sähköinen liiketoiminta, globaali kilpailu ja asiakaspalvelu ovat kaikki osa toiminnanohjausta (Steven-son 2009). Monet yritykset ovatkin alkaneet ymmärtämään toiminnanohjauksen tärkeyden. Tämä johtuu siitä, että ne ovat huomanneet miten toiminnan ohjauksen avulla voidaan parantaa samanaikaisesti tehokkuutta ja asiakaspalvelua (Slack et al. 2010). Toiminnanohjauksella tarkoitetaan yrityksen tilaustoimitusketjun eri toimintojen ja tehtävien suunnittelua ja hallintaa. Toiminnanohjauksen käsitettä käytetään nykyään yleisesti tuotannonohjauksen sijaan, koska yrityksen toiminnan hallinta edellyttää tuotannon lisäksi

muidenkin toimintojen. kuten myynnin, jakelun, tuotesuunnittelun ja hankintojen ohjausta (Haverila et al. 2009).

Voidaankin sanoa, että toiminnanohjaus on sitä, miten organisaatiot tuottavat tavaroita ja palveluita. Kaikki mitä pidät päälläsi, syöt, käytät tai luet, tulevat sinulle operaatioiden johdolta, jotka ovat organisoineet tuotantoon. Jokainen kirja jonka lainaat kirjastosta, jokainen hoitotoimenpide jonka saat sairaalassa, jokainen palvelu jota odotat ja jokainen luento yliopistossa johon osallistut, ovat kaikki tuotettuja (Slack et al. 2010). Laajemmin käsiteltynä toiminnanohjaus alleviivaa kaikki liiketoiminnan osastot, koska osastot muodostuvat prosesseista (Krajewski et al. 2005). Eli toiminnanohjaus keskittyy sellaisiin prosesseihin, jotka tuottavat tuotteita tai palveluita ihmisten jokapäiväiseen käyttöön (Slack et al. 2010). Toiminnanohjauksen tavoitteena onkin organisoida ja ohjata toimintaa siten, että yrityksen tuotannon tavoitteet täyttyvät parhaalla mahdollisella tavalla (Haverila et al. 2009). Seuraavaksi kuvattu lyhyesti tilaus-ohjautuvaa tuotantoa sekä varasto-ohjautuvaa tuotantoa.

Tilauksohjautuva tuotanto (MTO). Yritykset, jotka tekevät asiakaskohtaisia tuotteita pienissä määrissä, käyttävät yleensä tilaus-ohjautuvaa tuotantoa (Krajewski et al. 2005). Tässä strategiassa käytetään standardia tuotemallia, mutta tuotteen lopullinen valmistus on linkitetty asiakkaan spesifikaatioon. Toimitusaika tällä strategialla on melko pitkä verrattuna esim. varasto-ohjautuvaan tuotantoon (Stevenson 2009). Jotkut toiminnot ovat luottavaisia kysynnän luonteeseen ja pitävät pääosan asiakastilauksen vaatimista resursseista varastossa, ainakin valmistavat resurssit. Mutta varsinainen asiakkaan tilaama tuote valmistetaan vasta kun saadaan asiakkaalta varsinainen tilaus (Slack et al. 2010).

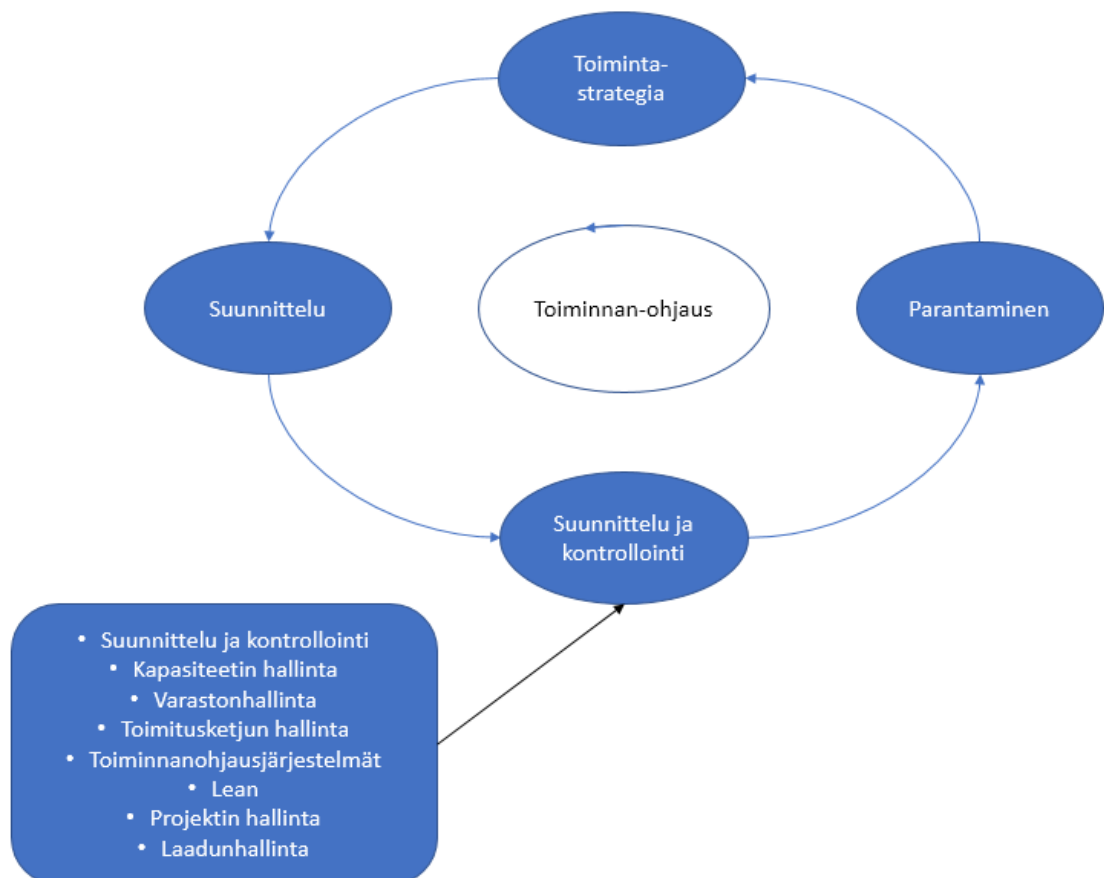
Varasto-ohjautuva tuotanto (MTS). Varasto-ohjautuvassa tuotantomallissa, tuotanto perustuu ennusteeseen ja tuotteet myydään suoraan valmistusvarastosta. Tilauksen toimitusaika on tällöin lyhyt (Stevenson 2009). Tämä strategia on sopiva standardituotteille, joilla on suuret volyymit ja melko tarkka ennustettavuus. Tämä strategia sopii myös asiakaskohtaisille tuotteille, jos määrät ovat tarpeeksi isot (Krajewski et al. 2005). Tässä strategiassa valmistaja ottaa riskin pitämällä varastossa myymättömiä tuotteita (Slack et al. 2010).

2.3 Varastonhallinta ja sen merkitys toiminnoille

Tuotannon johdolla on usein kaksijakoinen asenne varastoja kohtaan. Toisaalta se on kallista ja monessa tapauksessa sitoo huomattavan summan pääomaa. Varaston pitäminen on riskialtista, koska varastoidut tuotteet voivat vanhentua, mennä käyttökelvottomaksi tai vain hävitä ja kaiken lisäksi ne voivat viedä arvokasta tilaa muilta toiminnoilta. Toisaalta ne luovat tiettyä turvallisuutta epävarmassa ympäristössä, jossa pitää pystyä toimitamaan tuotteita varastosta, kun asiakastarve ilmaantuu. Tämä on juuri varastonhallinnan keskeinen ongelma: Varastojen pitäminen kustannuksista ja muista haitoista huolimatta, jotta niillä voidaan joustavasti vastata asiakastarpeisiin (Slack et al. 2010).

Varastonhallinta on toiminnanohjauksen ytimessä. Hyvä varastonhallinta on tärkeää liiketoiminnan ja toimitusketjujen hyvälle onnistumiselle. Huono varastonhallinta heikentää toimintoja, huonontaa asiakastyytyväisyyttä sekä kasvattaa toiminnan kustannuksia (Stevenson 2009). Seuraavassa on esitetty avainkysymykset, joihin varastonhallinnan avulla pyritään saamaan vastaukset (Slack et al. 2010): Mitä on varasto? Miksi varastoa tarvitaan? Mitä haittoja on varaston pitämisellä? Kuinka paljon varastoa kannattaa pitää? Milloin operaation pitäisi vähentää varastoa sekä miten varastoa voidaan hallita?

Varastohallinta on myös osa materiaalihallintaa, jolla tarkoitetaan yrityksen raaka-aineiden, puolivalmisteiden ja lopputuotteiden hankinnan, varastoinnin ja jakelun hallintaa (Haverila et al. 2009). Se on lisäksi toiminto, joka organisoii nimikkeiden saatavuuden asiakkaille. Se koordinoi osto-, valmistus- ja jakelufunktioita saavuttaakseen markkinoiden tarpeen (Wild 2011). Varastonhallinta koskee prosesseja, jotka varmistavat tuotteiden saatavuuden samalla vähentäen investointikustannuksia (Prater et al. 2012). Kuvassa 2 on esitetty, miten varastonhallinta sijoittuu toiminnanohjauksen kenttään.



Kuva 2. Varastonhallinnan sijoittuminen toiminnanohjauksen kenttään. (mukaillen Slack et al.2010)

Varastohallinta on kuitenkin tärkeää kaikentyyppisissä liiketoimintaympäristöissä. Varastohallinnan haasteena ei ole vain ajaa varastoja tyhjiin kustannusten säästämiseksi tai täyttää varasto mahdollisimman täyteen, jotta pystytään vastaamaan kaikkiin asiakastarpeisiin, vaan haasteena on pitää varastossa oikea määrä tuotteita, jotta saavutetaan markkinoiden kilpailulliset prioriteetit mahdollisimman tehokkaasti. Yrityksille, jotka toimivat melko alhaisilla voittomarginaaleilla, heikko varastohallinta voi olla hyvinkin kohtalokasta (Krajewski et al. 2005). On tärkeää yritykselle hallita varastoja onnistuneesti käyttämällä kaikkia saatavilla olevia ja yrityksen liiketoimintaan sopivia tekniikoita. Tekeillä näin yritys voi pienentää esim. henkilökustannuksia ja nostaa asiakastyytyvyyttä parantamalla varaston saatavuutta (Prater et al. 2012).

Krajewski et al. (2005) mukaan varastohallinta on tärkeää monelle organisaation funktiolle, kuten esim:

- Kirjanpidolle, joka tuottaa varastohallinnan kustannusarvioita, maksaa toimittajille ja laskuttaa asiakkaita
- Taloushallinnolle, joka keskittyy varastohallinnan investointikustannuksiin ja arvioi miten parhaiten rahoittaa varasto ja siihen liittyvä kassavirta.
- Johdon informaatiojärjestelmille, jotka kehittävät ja ylläpitävät varastohallintajärjestelmiä.
- Markkinoinnille ja myynnille, jotka luovat tarpeet varastointijärjestelmille ja luottavat varastoon asiakastarpeen tyydyttämiseksi.
- Toiminnoille, joilla on vastuu organisaation varaston hallinnasta.

Varastohallinnan tärkein tavoite on pitää oikea määrä varastossa ja varmistaa ettei tapahdu ylivarastointia eikä alivarastointia (Prater et al. 2012). Alivarastointi voi johtaa toimitusten myöhästymiseen, menetettyyn myyntiin, asiakastytymättömyyteen sekä tuotannon pullonkauloihin. Ylivarastointi puolestaan sitoo tarpeettomasti pääomaa joka voisi olla tuottavampaa jossain muualla organisaatiossa. Vaikka ylivarastointi voi näyttää pienemmältä pahalta, on hintalappu ylivarastoinnille järkyttävä silloin kun varastointikustannukset ovat korkeat (Stevenson 2009). Yrityksen johto asettaa pitkän tähtäimen tavoitteet yrityksen tulokselle ja kannattavuudelle. Jokainen yrityksen funktio vastaa omalla toiminnallaan johdon vaatimuksiin. Varastohallinta funktiona tukee yrityksen liiketoiminnallisia tavoitteita optimoimalla kolmea kohdetta (Wild 2011):

- Asiakaspalvelu
- Varastoinnin kustannukset
- Toiminnan kustannukset

Tästä saadaan varastohallinnan kaksi päätavoitetta. Ensimmäinen on asiakaspalvelun taso, joka tarkoittaa, että pitää olla oikeaa tavaraa riittävä määrä oikeassa paikassa ja oi-

keaan aikaan. Toinen huolenaihe on varastoinnin ja tilaamisen kustannukset. Yleinen tavoite varastonhallinnalle on saavuttaa sopiva asiakastyytyvyyden taso ja samalle pitää varastoinnin kustannuksen järkevissä rajoissa (Stevenson 2009).

Kunnollisella varastonhallinnalla voidaan saavuttaa mm. seuraavia hyötyjä (Prater et al. 2012):

- Parempi ennustettavuus
- Parantuneet taloudelliset edellytykset kustannuksia vähentämällä
- Kriittisten tuotteiden tunnistaminen
- Kyky tukea JIT:ä eli juuri oikeaan aikaan-mallia

2.4 Varastoinnin kustannukset

Miksi pitäisi välittää varastoinnin taloudellisista puolista? Koska varastointi sitoo rahaa. Perusymmärrys siitä, miten varasto näkyy tuloslaskelmassa ja miten se vaikuttaa kassavirtaan, parantaa kykyä hallita varastoa siten, että on oikeat nimikkeet oikeaan aikaan varastossa (Muller 2011).

Varastoinnille liittyy kolme peruskustannusta: Varastointikustannukset, tilauskustannukset ja tuotteen loppumisesta aiheutuvat kustannukset. Stevenson (2009) esittää nämä kustannukset seuraavasti:

- Varastointikustannuksiin liittyvät kaikki tuotteen fyysiseen varastointiin liittyvät kustannukset. Tällaisia ovat mm. korot, vakuutukset, verot, pilaantuvuus, tuotteen vanhentuminen ja lisäksi varsinaisen varastoinnin kustannukset, kuten esim. lämpö, valo, vuokra, vartiointi. Tähän kuuluu myös ns. mahdolliset kustannukset, jotka tarkoittavat varastointiin sidottuja kustannuksia, jotka muussa tapauksessa voisi olla pääomana käytettävissä muualla.
- Tilauskustannukset ovat tuotteen tilaamisesta ja vastaanottamisesta aiheutuvia kustannuksia. Tähän kuuluu itse tilauksen tekemisestä aiheutuvat kustannukset. Kuljetuskustannusten lisäksi tähän luokkaan kuuluu tilausmäärän päättelemisestä aiheutuvat kustannukset, laskujen valmistelu, tilattujen tuotteiden laadun ja määrän tarkistus sekä tilattujen tavaroiden siirtämisestä aiheutuvat kustannukset. Jos tehdään itse tuotteita varastoon toimittajalta ostamisen sijaan, on tuotteen tekemiseen vaadittavien tuotantokoneiden asetuskustannukset tilauskustannuksia. Asetuskustannukset ovat riippumattomia tilattavasta eräkoosta.
- Tuotteen loppumisesta aiheutuvat kustannukset realisoituvat, kun tarve ylittää tarjonnan. Näihin kustannuksiin voi kuulua menetetty myynti, asiakastytymättömyys, myöhästymismaksut ja vastaavat kustannukset.

Kuten edellä mainituista huomataan, tuotteiden varastointi aiheuttaa monia kustannuksia ja varastossa makaaviin tuotteisiin on sidottu pääomaa monessa eri muodossa. Aikaisemmin mainitut kustannustekijät ovat muutamia esimerkkejä varastoinnin kustannuksista.

Varastoinnista aiheutuvat kustannukset korostavat varastohallinnan merkitystä yrityksille.

2.5 Varaston luokittelu ja mittaaminen

Varastonohjauksen tarkoitus on ajaa varastot kohti oikeaa tasoa, joka on määritelty toimitusten ja kysynnän mukaan. Tasapaino on kaikkein tärkein, kun varmistetaan, että tuotetaan maksimaalinen palvelutaso minimi varastointikustannuksilla (Wild 2011). Nimikkeen rahallista arvoa voidaan käyttää mittaamaan nimikkeen varaston absoluuttista arvoa halutulla ajanhetkellä. Tämä on hyödyllinen arvo, joka kertoo miten paljon on investoitu varastoon, mutta se ei kuvaa sitä kuinka suuri se investointi on suhteessa koko toiminnon läpimenoon. Voidaksemme tehdä näin, pitää verrata nimikkeiden kokonaismäärää varastossa niiden käytön määrään (Slack et al. 2010). Tärkeä huomio varastonohjauksessa on se, että varastoivat nimikkeet eivät ole tasa-arvoisia tärkeyden suhteen. Tärkeyteen vaikuttaa esim. tuotteeseen investoitu pääoma, mahdollinen voittopotentiaali, myyntivolyymi tai tuotteen loppumisesta aiheutuvat sakkomaksut (Stevenson 2009). Seuraavassa on kuvattu yleisimpiä varaston luokittelun ja mittaamisen menetelmiä.

2.5.1 ABC-analyysi

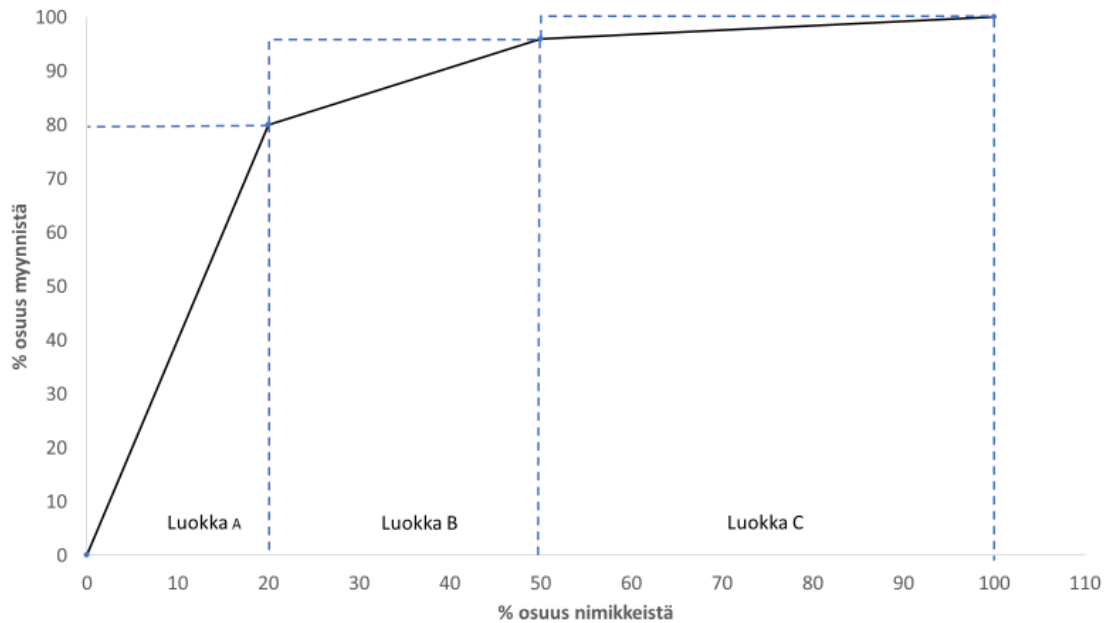
Jokaisessa varastossa, jossa varastoidaan enemmän kuin yhtä tuotetta, ovat jotkut nimikkeet tärkeämpiä kuin toiset. Esimerkiksi joillakin tuotteilla voi olla hyvin suuri käyttö, jolloin tuotteen loppuessa monet asiakkaat olisivat pettyneitä. Toiset tuotteet taas saattavat olla arvoltaan korkeita, jolloin suuret varastomäärät olisivat erityisen kalliita (Slack et al. 2010).

Tyypillinen organisaatio pitää tuhansia nimikkeitä varastossa, mutta niistä vain pieni osa vaatii johdon lähempää huomioita ja tiukempaa kontrollia. ABC-analyysi on prosessi, jossa yrityksen varastoitavat tuotteet ja komponentit jaetaan kolmeen luokkaan jonkin tärkeän ominaisuuden mukaan esim. nimikkeiden vuosittaisen myynnin perusteella (Krajewski et al. 2005). Tähän luokitteluun otetaan ne tuotteet, jotka yritys itse valmistaa ja varastoi. Ostokomponentit voidaan luokitella erikseen esim. vuosittaisen ostokustannuksen mukaan. Tärkein syy ABC-analyysin luokitteluun on se, että monissa käytännön tapauksissa varastoitavien nimikkeiden määrä on liian suuri, jotta niihin voitaisiin soveltaa nimikekohtaisia varastohallinta metodeja (Teunter et al. 2010). ABC-analyysissa vuosittainen myynti saadaan kaavalla:

$$\text{Vuosittainen käyttö} * \text{yksikköhinta}, \quad (1)$$

Varastonimikkeiden luokittelu ABC-analyysin avulla on yksi käytetyimmistä menetelmistä organisaatioissa (Ramanathan 2006). ABC-analyysi on sovellus vanhasta 20/80-säännöstä, jonka mukaan 20% nimikkeistä aiheuttaa 80% vuosikulutuksesta (Haverila et

al. 2009). 20/80-sääntö pohjautuu Pareto:n lakiin ja puhutaankin Pareto analyysistä. Pareto analyysi on tekniikka, joka muodostaa perustan varaston kontrollin ajattelulle (Wild 2011). Kuvassa 3 on esitetty tyypillisen ABC-analyysin kaavio.



Kuva 3. Tyypillinen kaavio ABC analyysistä (mukaillen Krajewski et al. 2005)

ABC-analyysin perusteella nimikkeet jaetaan 3:een eri luokkaan. Luokka A (erittäin tärkeä), luokka B (kohtuullisen tärkeät) ja luokka C (vähiten tärkeät) (Stevenson 2009).

Luokat voidaan määritellä seuraavasti (Slack et al. 2010):

- Luokka A:n kuuluvat ne 20% varastonimikkeistä, jotka vastaavat n. 80% kokonaismyynnistä.
- Luokka B:n kuuluvat seuraavat 30% varastonimikkeistä, jotka vastaavat puolestaan n. 10% kokonaismyynnistä.
- Luokkaan C kuuluu loput 50% varastonimikkeistä, jotka vastaavat kuitenkin vain 10% kokonaismyynnistä.

Lähteestä riippuen luokkien raja-arvot hieman vaihtelevat. Stevenson (2009) käyttää teoksessaan seuraavaa luokittelua:

- Luokka A käsittää 10-20% varastonimikkeistä, jotka muodostavat n. 60-70 vuosittaisesta myynnistä.
- Luokkaan B kuuluu seuraavat 30-40% varastonimikkeistä, joista muodostuu 10-15% vuosittaisesta liikevaihdosta.
- Luokkaan C kuuluu loput 50-60% varastonimikkeistä, joista kuitenkin muodostuu vain 10-15% vuosittaisesta liikevaihdosta.

Kuvan 3 mukaan luokittelun prosentit ovat vastaavasti seuraavat: Luokka A käsittää 20% tuotteista ja vastaa 80%:a kokonaismyynnistä. Luokka B käsittää seuraavat 30% nimikkeistä, joista muodostuu 15% kokonaismyynnistä. Luokka C on loput 50% varastonimikkeistä, joista muodostuu vain 5% kokonaismyynnistä.

Lähteestä riippuen luokkien välillä on hieman eroja, mutta kuitenkin kaikissa luokkien suuruusluokka on suurin piirtein sama. On tärkeä varmistaa, että ABC-analyysi perustuu liikevaihtoon, mutta vähemmän tärkeää, että mihin arvoihin tarkat prosentit on kiinnitetty (Wild 2011).

A-luokan tuotteita pitää seurata tarkasti ja toistuvasti, koska niillä on suurin vaikutus yrityksen toimintaan. B-luokan tuotteiden kontrolliin käytetään vähemmän aikaa. Nimikkeisiin, jotka on luokiteltu C-luokkaan, tarkastellaan vain satunnaisesti (Slack et al. 2010). Tällaisen luokittelun ansiosta voidaan tunnistaa ne yritykselle tärkeät nimikkeet, jotka tuovat yritykselle eniten rahaa. Tällaisissa tuotteissa on mahdollista saavuttaa suuriakin hyötyjä. Tärkeiden A-luokan tuotteiden kohdalla puutteet voivat aiheuttaa suurtakin vahinkoa yrityksen toiminnalle. C-luokan tuotteiden kohdalla tuotteen loppuminen ei yleensä aiheuta niin suurta menetystä.

Vaikkakin vuosittainen liikevaihto voi olla tärkeä tekijä luokiteltaessa varastoitavia nimikkeitä, voi johto ottaa myös muita tekijöitä huomioon tehdessään poikkeuksen tiettyjen nimikkeiden kohdalla (Stevenson 2009). Korkea prioriteetti voidaan antaa nimikkeille, jotka voisivat loppuessaan vakavasti viivästyttää tai keskeyttää toisen operaation tai asiakkaan toiminnon. Jotkut nimikkeet, vaikkakin vähemmän myyviä, voivat vaatia enemmän huomiota, jos niiden toimitus on epävarmaa tai arvaamatonta. Tuotteet, jotka voivat menettää arvoaan heikentymisen tai vanhenemisen vuoksi, voivat vaatia ylimääräistä huomiota ja valvontaa (Slack et al. 2010).

2.5.2 Varaston kiertonopeus ja riitto

Varaston kiertonopeusarvo mittaa, kuinka monta kertaa varasto vaihdetaan tietyn ajanjakson aikana. Yksinkertaisimmillaan varaston kierto tapahtuu joka kerta, kun nimike vastaanotetaan, käytetään tai myydään ja korvataan (Muller 2011). Yleisesti voidaan sanoa, mitä korkeampi kiertonopeus, sitä parempi, koska se kertoo varaston tehokkaasta käytöstä. Kuitenkin toivottu kiertojen määrä riippuu teollisuuden alasta ja katteista. Mitä korkeampi kate tuotteella, sitä alempi on hyväksyttävä kiertonopeuden arvo. Ja toisin päin (Stevenson 2009). Toimialat, joissa on suuret volyymit ja alhaiset katteet, kuten esimerkiksi ruokakaupat, varaston kierto voi olla jopa yli 12 kertaa vuodessa. Tyypillisesti valmistavilla yrityksillä keskimäärin kuusi kertaa vuodessa (Shinkle 2002). Varaston kiertonopeus voidaan laskea kaavalla (Slack et al. 2010):

$$\text{Varaston kiertonopeus} = \frac{\text{Vuosittainen tarve/myynti}}{\text{Keskimääräinen varaston määrä/arvo}}, \quad (2)$$

josta keskimääräinen varaston arvo saadaan kaavalla (Krejowski et al. 2005):

$$\begin{aligned} &\text{keskimääräinen varaston arvo} = \\ &\text{keskimääräinen nimikkeen varaston määrä} * \text{nimikkeen arvo}, \end{aligned} \quad (3)$$

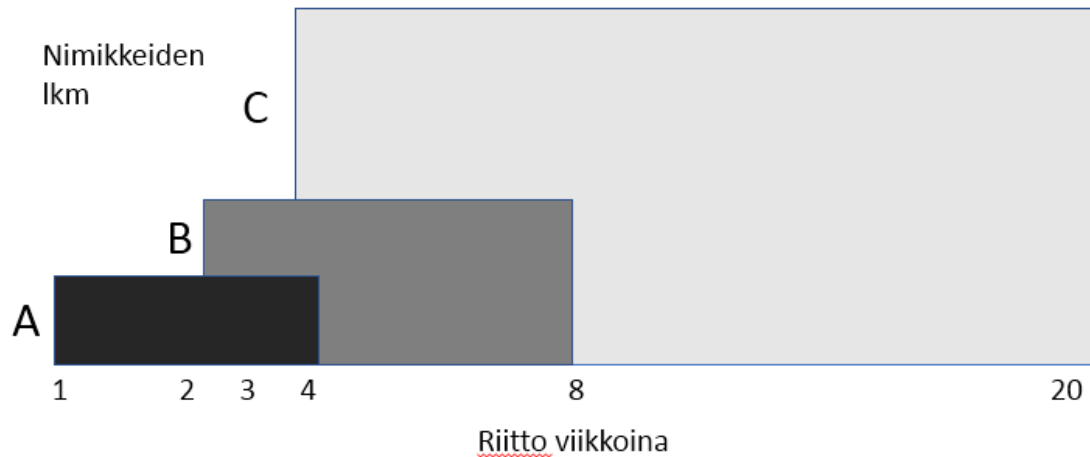
Varaston kiertonopeuden yhteydessä puhutaan myös käsitteestä varaston riitto. Siinä lasketaan kuinka kauan varasto riittää normaalilla kysynnällä, jos varastoa ei välillä täytetä (Slack et al. 2010). Tämä antaa tuloksen siitä, kuinka monta viikkoa nimikettä on jäljellä. Varaston riiton avulla voidaan myös priorisoida toimenpiteitä. Se ei ole mikään täydellinen opas, mutta antaa indikaatiota siitä, milloin katselmus olisi paikallaan. Riitto on varaston kierron kanssa samankaltainen (Wild 2011). Tässä tasapaino on suositeltavaa. Korkea riitto voi vihjata ylimääräiseen varastoon, kun taas alhainen riitto voi vihjata, että on olemassa riski tuotteen loppumiselle varastosta (Stevenson 2009). Riitto viikkoina saadaan laskettua seuraavalla kaavalla (Wild 2011):

$$\text{Riitto} = \frac{\text{nykyinen varasto} * 52}{\text{Ennuste vuoden tarpeesta}}, \quad (4)$$

Riiton laskemisessa voidaan käyttää myös ennusteen sijaan historiadataan perustuvaa keskimääräistä vuoden kulutusta. (Wild 2011) Riitto viikkoina voidaan laskea myös toisella kaavalla: (Krajewski et al. 2005)

$$\text{Riitto} = \frac{\text{keskimääräinen varaston arvo}}{\text{viikottainen myynti (kustannuksen mukaan)}}, \quad (5)$$

Käytännössä varastossa voisi olla kontrollirajat joilla vältetään varastoinnin ääripäät ja sen vuoksi sallitut varastorajat voidaan asettaa ABC-luokittelun luokille suhteella 1:3:7. Varaston riitto (viikkoina) kaikille varaston nimikkeille voidaan esittää kuvan 4 mukaan (Wild 2011):



Kuva 4. Riiton rajat ABC-luokille (mukaiillen Wild 2011)

Kuvassa 4 A-luokan riiton rajat ovat yhden ja neljän viikon välissä. B luokan riitto kahden ja kahdeksan viikon välissä ja C luokan 4 ja 20 viikon välissä.

ABC-analyysin ja varaston riitto tekniikoiden käyttö yhdessä ovat keskeiset tekijät, kun luodaan varastoinnin käytännön perusteita (Wild 2011).

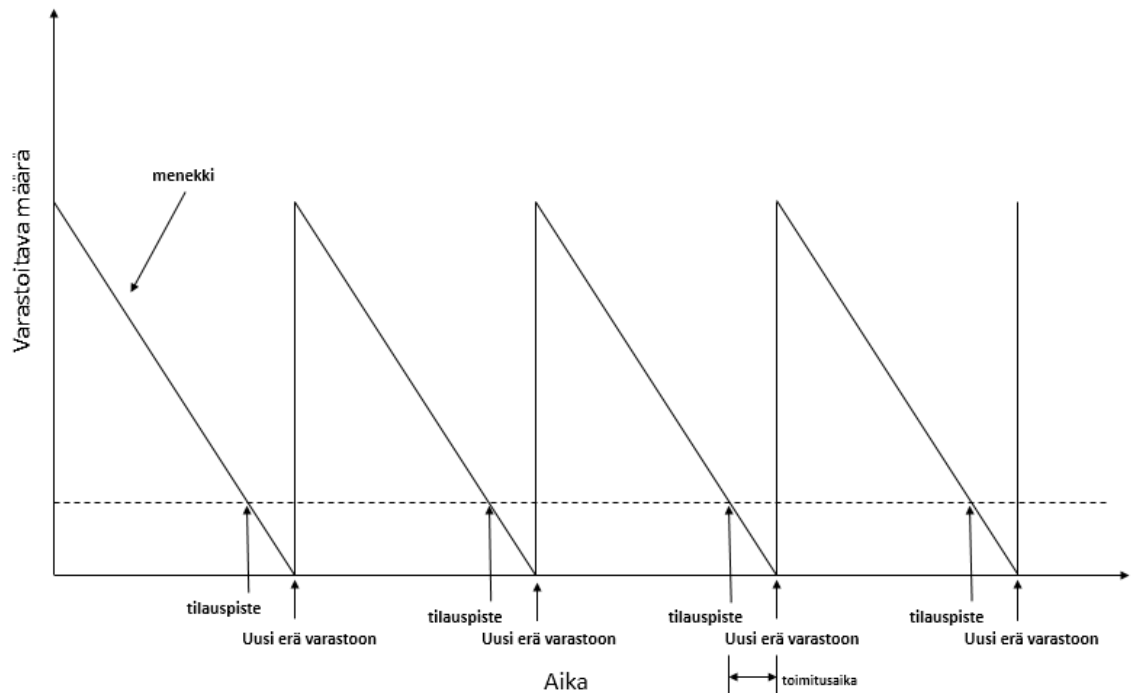
2.6 Varaston täydentäminen

Lanka ja Muovi Oy:ssä on käytössä sekä varasto-ohjautuvaa tuotantoa, että tilausohjautuvaa tuotantoa. Yrityksen omat tuotteet sekä tiettyjen asiakkaiden tuotteet ovat varasto-ohjautuvia. Alihankintana tehtävät tuotteet ovat tilausohjautuvia. Tässä tutkimuksessa keskitytään yrityksen omiin tuotteisiin ja sitä kautta käsitellään varasto-ohjautuvaa tuotantoa.

Tavoite varastonhallinnassa on ylläpitää tasapainoista varastoa, jotta asiakaspalvelu jokaiselle varastoitavalle nimikkeelle pidetään järkevissä rajoissa (Wild 2011).

2.6.1 Perusvarastomalli

Seuraavassa kuvassa (kuva 5) on kuvattu varaston kierto eli varastotason profiili ajan kuluessa. Puhutaan myös perusvarastomallista.



Kuva 5. Varaston profiili ajan kuluessa. (mukaillen Stevenson 2009)

Kuvassa tuotteen tasainen menekki laskee tuotteen varastoitavaa määrää. Kun saavutetaan tilauspiste, tilataan uusi erä tuotetta. Stevenson (2009) on määritellyt tilauspisteen seuraavasti: Tilauspiste saavutetaan, kun varastoitavan tuotteen määrä putoaa ennalta määritellyn pisteen alapuolelle. Tämä määrä yleensä sisältää tuotteen odotetun menekin tuotteen toimitusaikana.

Voidaan puhua myös varmuusvarastosta. Perusvarastomallin oletuksena on (Haverila et al. 2009):

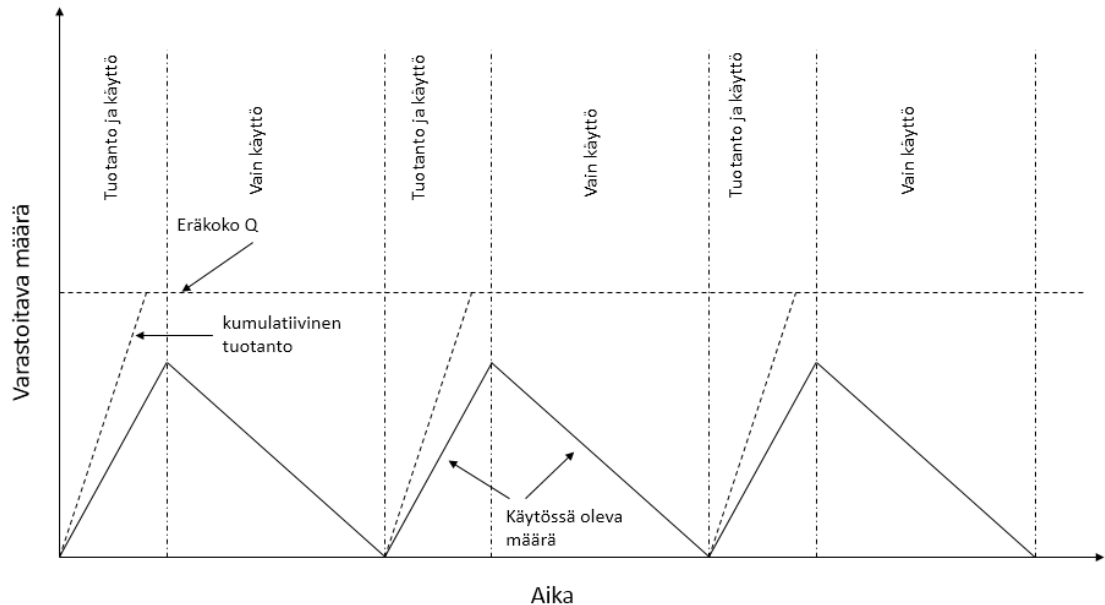
- Tuotteen menekki on tasainen
- Toimitus tapahtuu kerralla
- Toimitusaika on vakio.

Lanka ja Muovi Oy:n varastoimille tuotteille on määritelty hälytysrajat. Hälytysraja on vastaava kuin tilauspiste. Tällä hetkellä käytössä olevat hälytysrajat vastaavat kahden kuukauden keskimääräistä tuotteen kulutusta. Kun tuotteen saldo menee hälytysrajan alle, antaa ERP-järjestelmä siitä ilmoituksen. Tällöin tiedetään, että tuotetta on kahden kuukauden menekkiä vastaava määrä varastossa ja vielä on aikaa täydentää varastoa, ennen kuin tuote loppuu varastosta.

2.6.2 Erätuotantomalli

Vaikkakin perusvarastomalli tekee tiettyjä yksikertaistavia oletuksia, on se monissa tilanteissa käyttökelpoinen. Monissa tapauksissa varaston täyttö tapahtuu ajan kuluessa eikä yhdellä kertaa (Slack et al. 2005). Erätuotanto on laajalti käytetty tuotantoympäristöissä.

Tänä johtuu siitä, että valmistuskapasiteetti usein ylittää nimikkeen tarpeen. Eli niin kauan kuin valmistus on käynnissä, varasto kasvaa. Tällöin on järkevää valmistaa tuotteita erissä eikä jatkuvana tuotantona (Stevenson 2009). Kuvassa 6 on esitetty tällaisen erätuotannon varastomalli.



Kuva 6. *Varaston profiili varaston asteittaisessa täydennyksessä (mukaillen Stevenson 2009)*

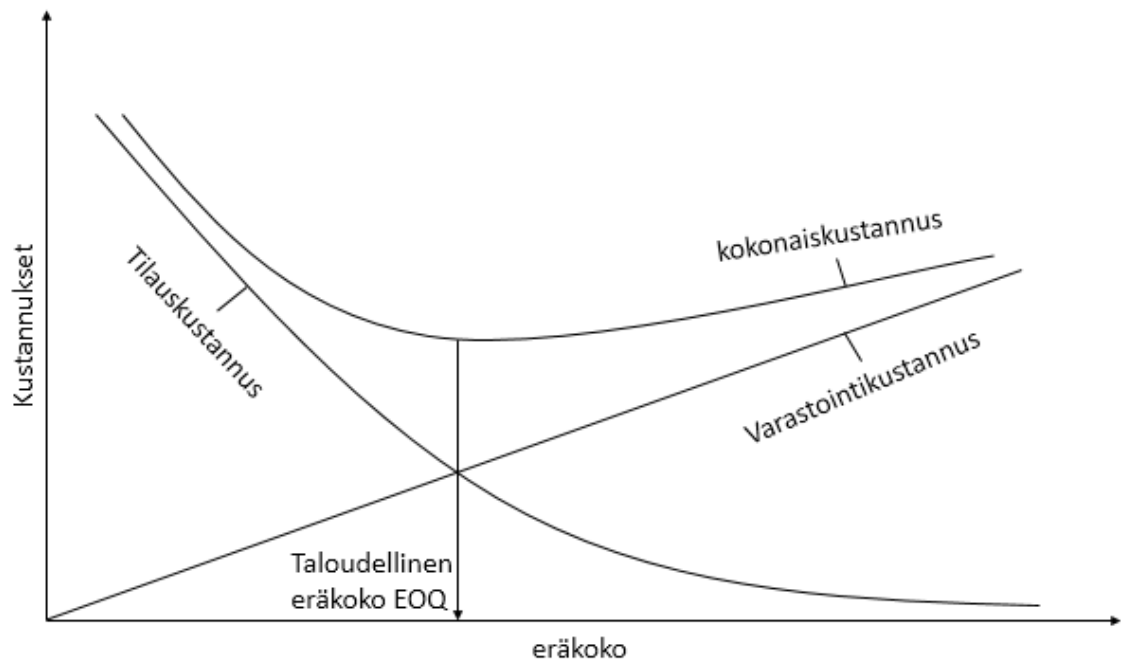
2.6.3 Taloudellinen eräkoko (EOQ)

Kun ei ole muuta suuntaviivaa taloudellisen eräkoon määrittämiseen, voidaan käyttää teoreettista mallia nimeltä EOQ (Wild 2011). Taloudellinen eräkoko tarkoittaa sitä tilausmäärää, jolla tilauskustannukset ja varastointikustannukset minimoidaan (Prater et al. 2012). Eli EOQ malli tunnistaa optimaalisen eräkoon minimoimalla tietyt tilauskoon mukaan vaihtelevat vuosittaiset kustannukset (Stevenson 2009). Kuten aikaisemmissa kappaleissa todettiin, niin yrityksillä on jatkuva paine pitää varastot alhaalla välttääkseen suuria kustannuksia, sekä tarpeeksi korkealla vähentääkseen tilaustaaajuutta ja asetusten määrää (Krajewski et al. 2005). Eli voidaankin sanoa, että tämä malli yrittää löytää tasapainon varaston pitämisen hyötyjen ja haittojen välillä (Slack et al. 2010). Taloudellisen eräkoon laskenta perustuu perusvarastomalliin.

Krajewski et.al mukaan EOQ:n määrittäminen perustuu seuraaviin oletuksiin:

- Ei ole rajoitteita (rekan kapasiteetti, materiaalin käsittelyn rajoitteet) eräkoolle
- On vain kaksi relevanttia kustannustekijää (varastointikustannus ja kiinteä tilauskustannus) erää kohden
- Päätökset yksittäiselle nimikkeelle voidaan tehdä muista nimikkeistä riippumatta (eli ei saavuteta mitään etua, jos useampi tilaus menee samalle toimittajalle)

Taloudellinen erä koko voidaan esittää kuvan 7 mukaan:



Kuva 7. Graafinen esitys taloudelliselle eräkoolle (mukaillen Slack et al. 2010)

Kuvan mukaan taloudellinen erä koko on se kohta, jossa tilauuskustannukset ja varastointikustannukset ovat samat. Kokonaiskustannus on siis varastointikustannuksen ja tilauuskustannuksen summa. Krajewski et al. (2005) on esittänyt kokonaiskustannuksille seuraavan kaavan:

$$C = \frac{Q}{2}H + \frac{D}{Q}S, \quad (6)$$

jossa C on vuosittainen kokonaiskustannus, Q on erä koko, H on yhden tuotteen yhden vuoden varastointikustannus (lasketaan usein %-osuutena nimikkeen arvosta), D on vuosittainen tarve (yksikköä/vuosi) ja S on tilauuskustannus per erä. Yhtälöstä varastointikustannus on $\frac{Q}{2}H$ ja tilauuskustannus $\frac{D}{Q}S$. Wild (2011) esittää varastointikustannukselle seuraavan kaavan:

$$\frac{1}{2} * r * P * Q, \quad (7)$$

jossa P on nimikkeen kustannus, Q on erä koko ja r on taloudellinen tekijä. Taloudellinen tekijä r on yleensä 20 – 30% nimikkeen arvosta, koska se ottaa huomioon rahan lainaamisen varastoon ja varaston käyttökustannukset. Näiden perusteella saadaan kaava (Wild, 2011):

$$H = r * P, \quad (8)$$

Taloudelliselle eräkoolle on annettu seuraava kaava, josta Haverila et al. (2009) puhuu myös Wilsonin kaavasta. Kaavan esityksessä käytetään edellisen kaavan (6) symboleita selvyyden vuoksi:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}}, \quad (9)$$

Jotta EOQ mallit voidaan pitää melko suoraviivaisina, on tarpeellista tehdä aikaisemmin mainittuja oletuksia. Vaikka nämä oletukset ovat harvoin täysin tosia, monia niitä voidaan arvioida todellisuudessa (Slack et al. 2010). Kuitenkin EOQ on usein järkevä ensimmäinen arvio keskimääräisestä eräkoosta, vaikkakin jokin oletuksista ei aivan täyty (Krajewski et al. 2005). Tällä kaavalla saatuja optimikokoja on pidetty liian suurina, koska siinä ei oteta huomioon tilauskustannusten pienenemistä niiden kasvaessa. Kaava ei ota huomioon myöskään varastojen kasvun haitallisia vaikutuksia laatuun ja läpäisy aikaan. Tällä kaavalla saadut arvot ovat toiminnan tehokkuuden kannalta noin 2-4 kertaa liian suuret (Haverila et al. 2009). Wild (2011) mukaan monissa tapauksissa 60% pienemmät eräkoot minimoivat kustannukset. Haverila et al. (2009) mukaan kaavaa voidaan soveltaa myös optimaalisen valmistuserän määrittämiseen, jolloin tilauskustannusten tilalle sijoitetaan asetuskustannukset ja varastointikustannusten tilalle keskeneräisen tuotannon kustannukset.

2.6.4 Taloudellinen tuotantomäärä (EPQ)

Erätuotanto on laajalti käytetty malli tuotannossa. Useissa tapauksissa tuotannon kapasiteetti ylittää nimikkeen kysynnän. Niin kauan kuin tuotanto jatkuu, kasvaa tuotettavan nimikkeen varasto. Tällaisissa tapauksissa on järkevää tuottaa tavaroita erissä jatkuvan tuotannon sijaan (Stevenson 2009).

Taloudelliselle tuotantomäärälle on monta lyhennettä. EBQ, EMQ, POQ tai EPQ. Taloudellinen tuotantomäärä pohjautuu kuvan 6 mukaiseen malliin. Tässä mallissa kokonaiskustannus on asetuskustannusten ja varastointikustannusten summa. Kaava kokonaiskustannuksille on siis sama kuin perusvarastomallissa sillä erotuksella, että tilauskustannuksen sijaan on asetuskustannus (Krajewski et al. 2005):

$$C = \frac{Q}{2}H + \frac{D}{Q}S, \quad (10)$$

jossa C on vuosittainen kokonaiskustannus, Q on erä koko, H on yhden tuotteen yhden vuoden varastointikustannus (lasketaan usein %-osuutena nimikkeen arvosta), D on vuosittainen tarve (yksikköä/vuosi) ja S on asennuskustannus per erä.

Stevenson (2009) on esittänyt kaavan taloudelliselle tuotantomäärälle seuraavasti:

$$EPQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \sqrt{\frac{p}{p-u}} \quad (11)$$

jossa p on tuotannon nopeus ja u on tarve samalla aikavälillä kuin p . Kaavaa tutkittaessa huomataan, että EPQ (kaava 11) antaa suurempia tuloksia kuin EOQ (kaava 9), johtuen kaavan jälkimmäisestä neliöjuuresta, jonka arvo on aina vähintään 1. Sekin vain sellaisessa tapauksessa, että kysyntä on nolla. Toisaalta EPQ:a ei voida laskea, jos kysyntä on sama kuin tuotannon nopeus. Tällöin nimittäjään tulee nolla ja tällöin osamäärää ei voida laskea. Jos kysyntä olisi sama kuin tuotannon nopeus, niin EPQ arvoa ei tarvitse laskea, koska riittää kun tuotanto on koko ajan käynnissä.

2.7 Varastojen rooli tuotannonohjauksessa

Varastoja tarvitaan tuotannossa, koska yksi tai useampi prosessin vaihe ei voi tuottaa kaikkia tarvittavia tuotteita samaan aikaan (Slack et al. 2010). Seuraavassa on kerrottu varastojen merkityksestä tuotannonohjauksessa.

Kysynnän ennusteet ja toimitusaika tieto. Varastoja käytetään tyydyttämään kysynnän vaatimuksia, joten on tärkeää olla luotettavia arviota kysynnän määristä ja ajoituksista. Yhtä lailla on tärkeää tietää, kuinka kauan menee aikaa, kun ostotilaukset / tuotantotilaukset toimitetaan. Tämän lisäksi pitää tietää millä välillä kysyntä ja toimitusaika vaihtelee (Stevenson 2009).

Varmuusvarastot ja väliavarastot. Varmuusvarasto on ylimääräinen nimikkeen varasto, joka suojaa kysynnän, toimitusajan ja toimituksen epävarmuutta vastaan. Varmuusvarastot ovat toivottuja, kun toimittaja epäonnistuu toimittamaan toivotun määrän määrättyyn päivämäärään mennessä tietyn laatuksena tai kun tuotannon valmistamissa tuotteissa on suuria määriä huonoja tai korjattavia tuotteita (Krajewski et al. 2009). Voidaan myös pitää väliavarastoja/varmuusvarastoja eri tuotantoprosessien välissä, jotta varmistetaan tuotannon jatkuvuus tuotantoprosessin eri osien häiriötilanteessa. Väliavarastoa voidaan pitää myös raaka-aineilla ja puolivalmiilla tuotteilla, jolloin suojaudutaan mahdollisilta toimintahäiriöiltä (Stevenson 2009).

Toimitusajat. Jos asiakas ostaa kilpailijalta sen vuoksi, koska heidän täytyy odottaa liian kauan, niin tällöin varastointi on hyvinkin perusteltua (Stevenson 2009).

Kustannukset. Minimoidakseen osto- ja varastointikulut, yritykset yleensä ostavat määriä, jotka ylittävät välittömän tarpeen. Tämä edellyttää, että osa tai kaikki ostetuista materiaaleista pitää varastoida myöhempää käyttöä varten. Vastaavasti on yleensä taloudellisempaa valmistaa tuotteita isommissa kuin pienissä erissä. Taas yli menevä määrä pitää varastoida myöhempää käyttöä varten. Tämän vuoksi nimikkeiden varastointi ohjaa yritystä ostamaan ja valmistamaan taloudellisella eräkoolla ilman, että yritetään saada ostoja

/ tuotantoa vastaamaan asiakastarvetta lyhyellä aikavälillä. Tämä johtaa jaksottaisiin tilauksiin tai tilaussykleihin (Stevenson 2009).

Asetuskustannus on se kustannus, joka muodostuu, kun vaihdetaan kone tuottamaan toista tuotetta. Se pitää sisällään työn ja ajan, joka kuluu, kun asetus tehdään. Asetuskustannus on riippumaton eräkoosta, joten sen vuoksi on paineita tuottaa kysyntää suurempia eräkojoja ja varastoida tuotteita (Krajewski et al. 2005).

Kausivaihtelut. Stevenson (2009) mukaan varastoilla voidaan tasoittaa tuotannon vaatimuksia. Tästä esimerkkinä kausivaihtelut, jolloin kysyntä voi nousta hetkellisesti tuotantoa suuremmaksi. Tällaiseen tilanteeseen pitää varautua etukäteen varaston tasoa nostamalla.

Joustavuus. Kun on laaja valikoima tuotteita tarjolla asiakkaille ja tuotanto ei ole täydellisen joustava, varastoa tarvitaan varmistamaan toimitus, kun tuotanto on varattuna muille tuotteille (Slack et al. 2010).

2.8 ABC-EPQ-varasto-ohjautuva tuotanto

Vaikka kirjallisuudessa (Slack et al. 2010; Haverila et al. 2009) esitetään kritiikkiä taloudellisen tuotantoerän laskentakaavan (11) tarkkuudesta, on se kuitenkin hyvä ensimmäinen arvio eräkoosta (Krajewski et al. 2005). A-luokan ja B-luokan tuotteisiin kannattaa taloudellisen eräkoon mallia käyttää, koska kuten aikaisemmin mainittiin A- ja B-luokka vastaavat 95% koko liikevaihdosta (Krajewski et al. 2005).

Yksinkertainen logiikka on tuottaa A-luokan nimikkeitä useammin, jotta varaston arvo ei nouse liian korkealle ja C-luokan tuotteita harvemmin, jotta vältetään liian monilta tilauksilta ja toimituksilta (Wild 2011). Tämän perusteella voidaan päätellä, että C-luokan tuotteisiin ei kannata käyttää aikaa EPQ:n osalta.

Kuten kappaleessa 2.5.1 todettiin, ABC-analyysi on prosessi, jossa yrityksen varastoivat tuotteet ja komponentit jaetaan kolmeen luokkaan jonkin tärkeän ominaisuuden mukaan esim. nimikkeiden vuosittaisen myynnin perusteella (Krajewski et al. 2005). Tuossa juurikin viitataan varastoitaviin tuotteisiin, jolloin ABC-analyysi soveltuu hyvin varasto-ohjautuvaan tuotantoon.

3. OPERAATIOTUTKIMUS

Ensimmäiset viralliset operaatiotutkimuksen aktiviteetit ovat peräisin Englannista Toisen Maailmansodan ajalta, kun joukko brittiläisiä tiedemiehiä ryhtyivät tekemään päätöksiä siitä, miten parhaiten hyödyntää sotamateriaalia (Taha 2003). Kun sota päättyi, operaatiotutkimuksen menestys sotarintamalla innosti soveltamaan operaatiotutkimusta myös armeijasektorin ulkopuolella (Lieberman 2005).

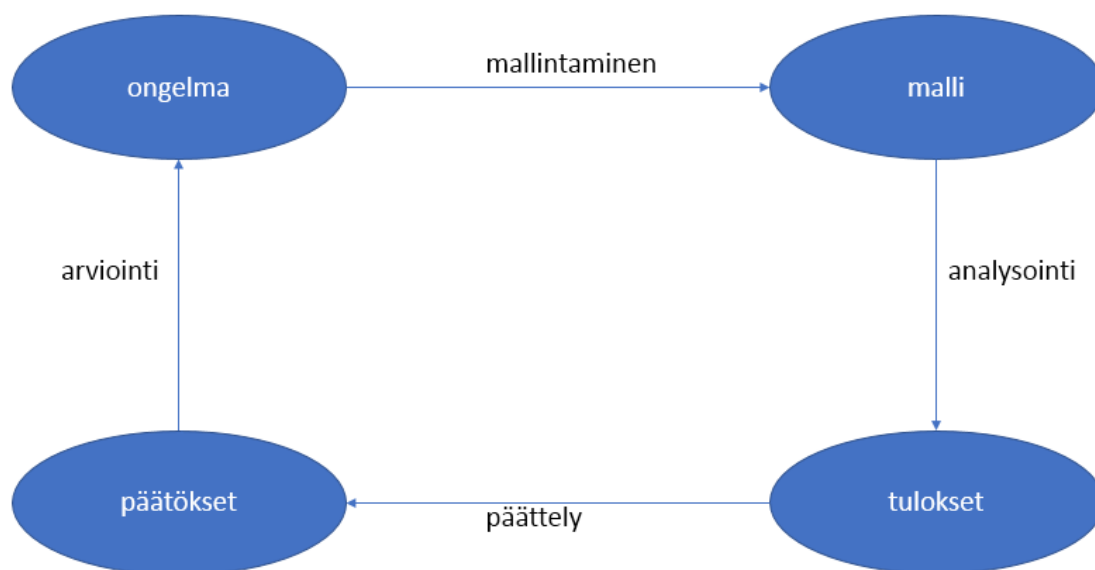
3.1 Operaatiotutkimuksen tausta ja periaate

Operaatiotutkimus on tutkimus siitä, miten muodostaa matemaattisia malleja monimutkaisista teknisistä ja johtamisen ongelmista ja miten analysoida niitä saadakseen jonkinlaisen käsityksen mahdollisista ratkaisuista (Rardin 1998). Kuten nimikin viittaa, operaatiotutkimus pitää sisällään ”operaatioiden tutkimusta”. Tämän vuoksi operaatiotutkimusta sovelletaan ongelmiin, jotka liittyvät siihen, miten operaatioita johdetaan ja koordinoidaan organisaation sisällä (Lieberman 2005). Operaatiotutkimuksen kulmakivi on matemaattinen mallinnus. Vaikkakin matemaattisen mallin ratkaisu luo perustan päätöksen teolle, aineettomat tekijät, kuten esim. ihmisten käyttäytyminen, täytyy ottaa huomioon ennen kuin lopullisia päätöksiä voidaan tehdä (Lieberman 2005). Operaatiotutkimuksella on ollut huomattava vaikutus tehokkuuden parantamiseen organisaatioissa ympäri maailman. Siinä samalla operaatiotutkimus on auttanut huomattavasti eri maiden kansantalouksien tuottavuuden parantamiseen (Lieberman 2005).

3.1.1 Operaatiotutkimuksen vaiheet

Operaatiotutkimus pohjautuu tiimityöskentelyyn, jossa operaatiotutkimusta tekevä/tekevät henkilö(t) ja tutkittavan kohteen vastuuhenkilö(t) työskentelevät yhdessä (Taha 2003). Tästä muodostuu operaatiotutkimustiimi. Kuitenkin pitää muista, että operaatiotutkimustiimi työskentelee normaalisti neuvoa-antavassa ominaisuudessa. Tiimin jäsenille ei vain anneta ongelmaa ja käsketä ratkaisemaan sitä parhaalla näkemällään tavalla. Sen sijaan tiimi suorittaa yksityiskohtaisen teknisen analyysin ongelmasta ja sitten esittelevät suositukset johdolle (Lieberman 2005).

Operaatiotutkimus on jatkuva prosessi, jota on kuvattu kuvassa 8.



Kuva 8. Operaatiotutkimusprosessi (mukaillen Rardin 1998)

Prosessi alkaa, kun ilmenee ongelma, johon tarvitaan ratkaisu. Ongelmasta mallinnetaan matemaattinen malli, jossa määritellään muuttujat sekä kuvataan järjestelmän käyttäytymistä määrittelevät yhteydet. Seuraavaksi analysoidaan luotu malli ja katsotaan mitä tuloksia malli meille antaa. Tämän jälkeen saatuja tuloksia tutkitaan ja niistä päätellään ollaanko saatu tarpeeksi merkitseviä johtopäätöksiä, jotta voidaan tehdä lopullisia päätöksiä. Tehtyjä päätöksiä arvioidaan ja niistä voidaan johtaa uusia ongelmia ja näin kierros alkaa uudelleen.

Tässä työssä käytetään lineaarista optimointimallia, joten seuraavissa kappaleissa keskitytään operaatiotutkimukseen lineaarisen optimointimallin näkökulmasta.

3.2 Lineaarisen optimointimallin käsitteitä

Linearisessa optimointimallissa kuten kaikissa operaatiotutkimuksen malleissa, on kolme peruskomponenttia (Taha 2003):

1. Päätöksenteko muuttujat, joihin haetaan vastausta lineaarisella mallilla
2. Tavoite, johon haluamme päästä tai optimoida
3. Rajoitteet, jotka täytyy täyttää.

Mallissa on oltava yhtä monta muuttujaa, kuin on päätettäviä asioita (esim. x_1, x_2, \dots, x_n) Tavoite joka halutaan saavuttaa, esitetään päätösmuuttujien matemaattisena funktiona (esim. $3x_1 + 2x_2 + \dots + 5x_n$). Kaikki ehdot, jotka voidaan määritellä näille päätöksille, esitetään myös matemaattisesti, yleensä epäyhtälöinä tai yhtälöinä (esim. $x_1 + 2x_1x_2 + 2x_2 \leq 10$). Tällaiset matemaattiset ilmaisut ehdoille ovat rajoitteita (Lieberman 2005). Linearisissa optimointimalleissa kohdefunktio maksimoi tai minimoi päätöksenteon suuretta (Rardin 1998). Esimerkkinä standardimallista (Taha 2003):

Yhtälö: maksimoi $z = 5x_1 + 4x_2$ (12)

Rajoitteet: $6x_1 + 4x_2 \leq 24$ (1)

$x_1 + 2x_2 \leq 6$ (2)

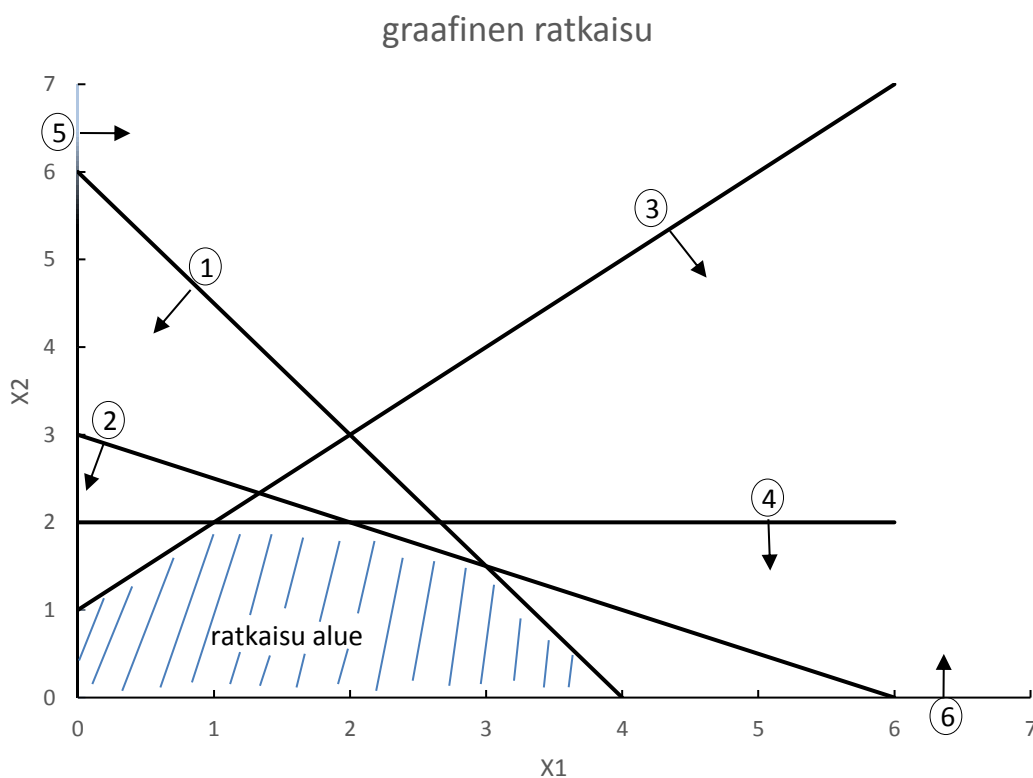
$-x_1 + x_2 \leq 1$ (3)

$x_2 \leq 2$ (4)

$x_1, x_2 \geq 0$ (5) (6)

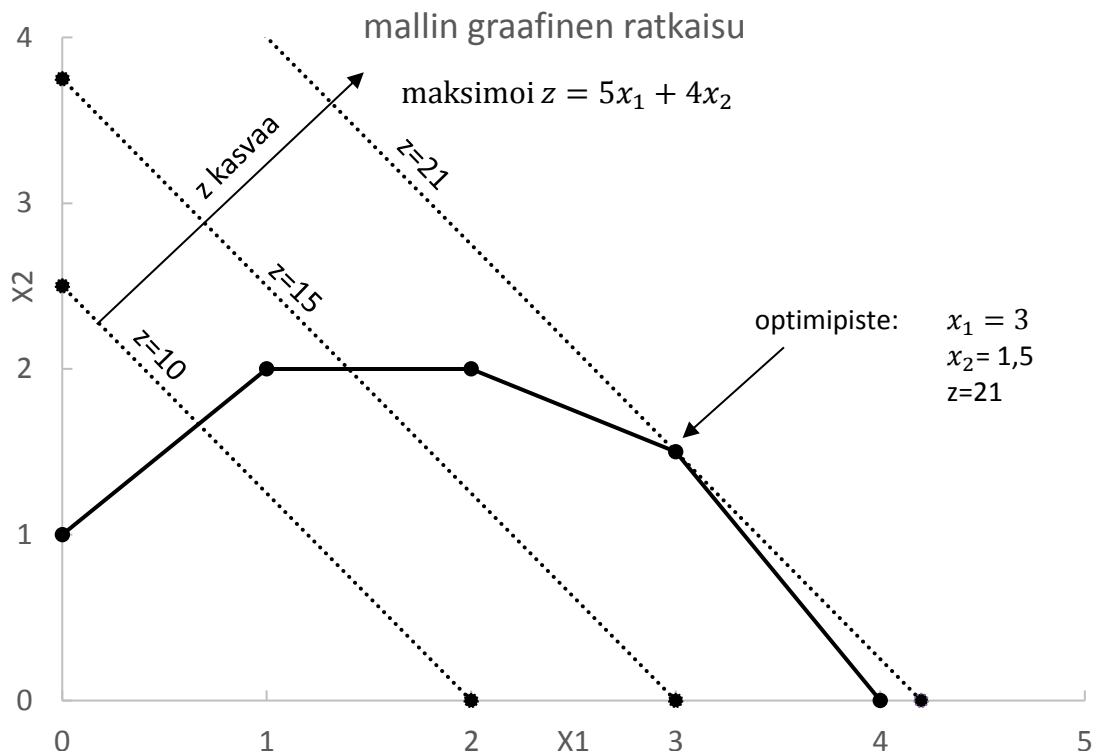
Matemaattinen malli voidaan ratkaista joko laskemalla tai graafisesti. Graafisessa ratkaisutavassa yhtälö rajoitteineen piirretään koordinaatistoon ja kaikki ehdot toteuttava alue on ns. käypä ratkaisu. Graafista ratkaisua voidaan käyttää, kun muuttujia on korkeintaan kaksi. Useamman kuin kahden muuttuja tapauksessa graafinen ratkaisu on hankalaa.

Ensin koordinaatistoon piirretään rajoitteet:



Kuva 9. LP-mallin graafinen ratkaisu (mukaiillen Taha 2003)

Tämän jälkeen piirretään koordinaatistoon kohdeyhtälön eri kokonaisarvoja vastaavat yhtälöt $z=21$, $z=15$ ja $z=21$:



Kuva 10. LP-mallin graafinen ratkaisu (mukaillen Taha 2003)

Kuvassa näkyy ratkaisualue suurempana. Ratkaisualue täyttää kaikki rajoitukset. Tässä vaiheessa pitää tunnistaa mihin suuntaan kohdefunktio kasvaa, koska tehtävän tässä esimerkissä oli maksimoida. Kun annetaan kohdefunktiolle z arvoja esim. $z=10$, $z=15$ ja $z=21$, niin saamme kuvassa katkoviivalla näkyvät suorat. Samalla nähdään, mihin suuntaa z kasvaa. Optimipiste on se käyvän alueen suorien leikkauspiste, jossa kohdefunktio saa suurimman arvonsa. Nyt kuvaajasta nähdään, että kun $z=21$, niin suora $5x_1 + 4x_2 = 21$, osuu suorien 1 ja 2 leikkauspisteeseen, joka on myös kohdeyhtälön maksimipiste annetuilla rajoituksilla. Optimipisteen koordinaatit saadaan ratkaisemalla suorien 1 ja 2 leikkauspiste. Tästä saadaan yhtälöpari:

$$\begin{cases} 6x_1 + 4x_2 = 24 \\ x_1 + 2x_2 = 6 \end{cases} \quad (13)$$

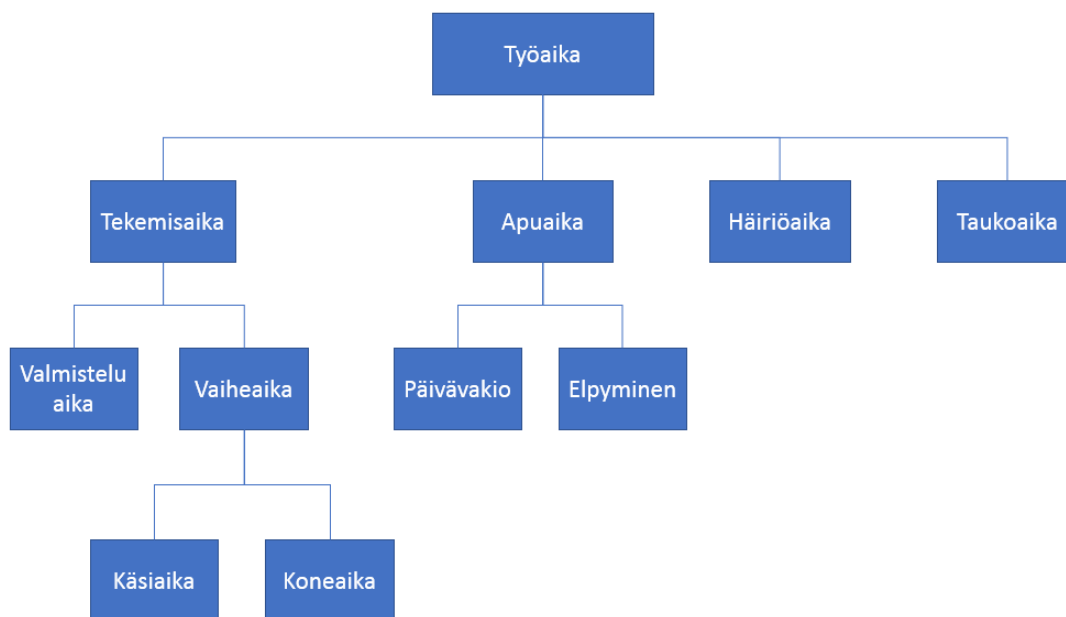
Yhtälöparin ratkaisu on $x_1 = 3$ ja $x_2 = 1,5$, jolloin kohdeyhtälöstä saadaan $z = 5 * 3 + 4 * 1,5 = 21$.

Yllä esitetty on yksinkertainen esimerkki LP-mallin graafisesta ratkaisusta. Graafisen ratkaisun pohjalta on hyvä lähteä ratkaisemaan LP-mallia. LP-mallin ratkaisemiseen on olemassa omia sovelluksiakin, esimerkiksi ilmainen LPSolveIDE. Myös Excelin ratkaisimella voidaan ratkaista LP-mallin optimiratkaisu.

3.3 Aikalajit

Koska työssä käsitellään myös asetusajoja ja varsinaisia valmistusaikoja, käydään myös lyhyesti läpi eri aikalajit.

Työaikaa ja siihen kuuluvia aikalajeja analysoidaan erillisinä kokonaisuuksina. Työnmittauksessa työpäivä voidaan jakaa eri aikalajeihin. Alla olevassa kuvassa (kuva 11) on eritelty työajan eri aikalajit.



Kuva 11. Aikalajit työntutkimuksessa (mukaillen EK-SAK tuottavuustyöryhmä 2011)

Kuva antaa selkeän käsityksen millaisiin osiin päivittäinen työaika voidaan jakaa. Tällä jaottelulla nähdään päivittaisen työajan koostumus. Kuinka paljon on häiriöaikaa ja kuinka paljon varsinaista tuottavaa työtä. Lisäksi nähdään, miten varsinainen tekemisaika voidaan jakaa valmistelu aikaan ja vaihe aikaan.

Tekemisaika on se aika työpäivästä, joka kuluu jalostusarvoa lisäävien työtehtävien suorittamiseen. Tekemisaika voidaan jakaa edelleen kahteen osaan, valmistelu aikaan ja vaihe aikaan. Valmistelu aika esiintyy yleensä kerran sarjaa tai valmistuserää kohde. Vaihe aika toistuu kerran jokaista kappaletta tai yksikköä kohden. Vaihe aika koostuu koneajasta ja käsiajasta. Käsiaikaan voi työntekijä itse vaikuttaa, kun taas koneaikaan ei voi suoraan vaikuttaa.

Tässä työssä keskitytään valmisteluajan eli ns. asetusajan merkitykseen tuotteen eräkokoa määriteltäessä. Myös vaiheajalla on oma merkityksensä, koska automaattikoneilla ja manuaalisilla koneilla on eri suuruinen vaihe aika. Valmistelu aikaan vaikuttaa myös se, tehdäänkö asetus automaattikoneelle vai manuaaliselle koneelle. Automaattikoneilla on

yleensä pitkät asetusajat varsinkin, kun koneella siirrytään tuoteryhmästä toiseen. Tuoteryhmän sisällä tuotteet ovat samankaltaisia, jolloin koneeseen ei tarvitse tehdä suuria muutoksia. Tällöin asetus aika automaattikoneilla voi olla lähempänä manuaalisia koneita. Pahimmillaan asetus aika automaattikoneella voi kestää yhden työvuoron verran.

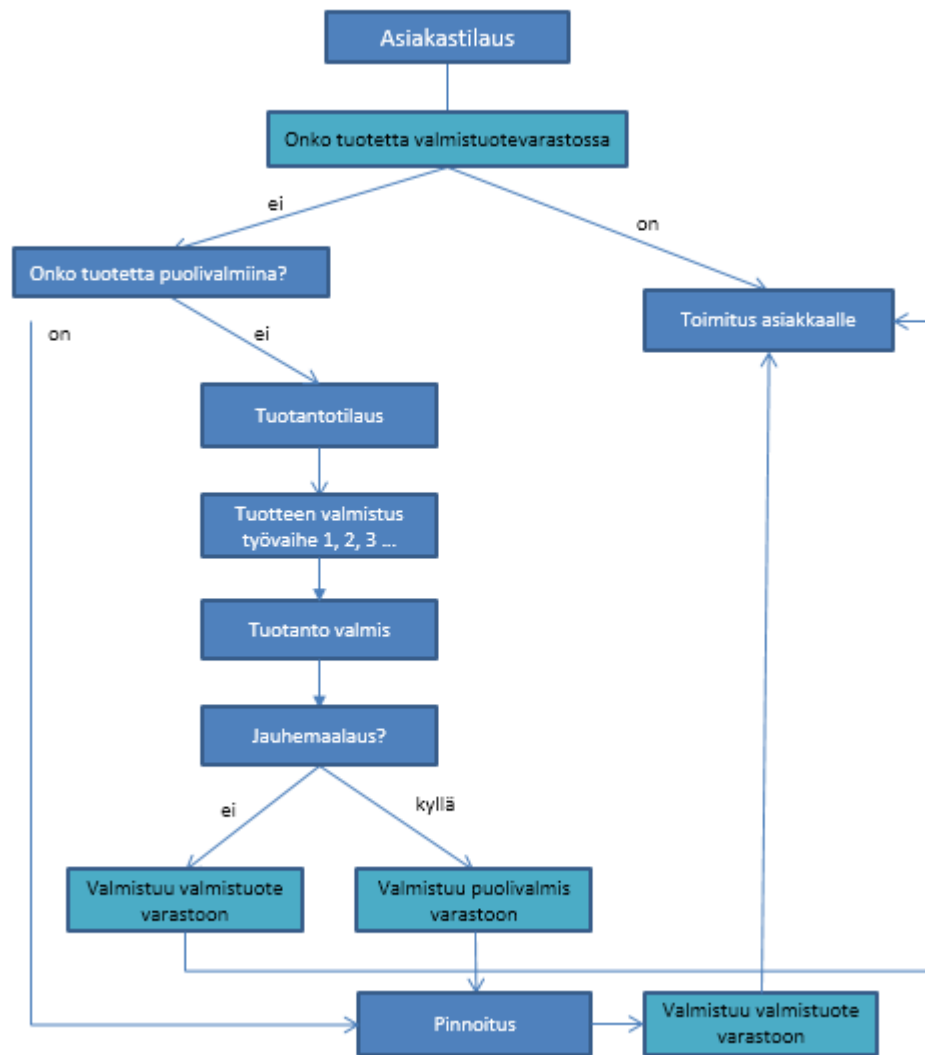
4. AINEISTO JA MENETELMÄT

Lanka ja Muovi Oy:llä on ollut käytössä jo vuosia tuotannossa tiedonkeruujärjestelmä, joka kerää jokaisen työn työvaiheiden tekemiseen kuluneen ajan ja valmistuneet kappaleet. Jokaisen tuotteen jokainen työvaihe, aloitetaan ja lopetetaan tiedonkeruujärjestelmään. Lopetuksessa kirjataan myös valmistuneet kappaleet. Dataa on saatavilla useiden vuosien varrelta, joten datan perusteella saadaan luotettava kuva tuotannon tilanteesta. Tiedonkeruujärjestelmän datan avulla saadaan eri nimikkeiden valmistukseen kulunut aika, jota tarvitaan taloudellisen tuotantoerän määrittämisessä.

Asetusaikoja ei tällä hetkellä kerätä täydellä tarkkuudella tiedonkeruujärjestelmään. Asetusaikojen seuraaminen tiedonkeruujärjestelmällä on vielä testausvaiheessa, koska yrityksessä ollaan ottamassa uutta tiedonkeruujärjestelmää käyttöön. Asetusaikojen osalta tässä tutkimuksessa käytetään asentajille tehtävää kyselyä. Tiedonkeruujärjestelmän dataa esimerkkituotteiden asetuskustannusten laskemiseen ei tämän vuoksi voida luotettavasti käyttää. Tässä kyselyssä asentajilta kysytään työvaiheiden asetusajat puhtaan asennuksen periaatteella. Eli kuinka kauan kuluu aikaa esimerkkituotteen työvaiheen asennukseen kauimmillaan. Eli kun vaihdetaan tuotantokoneen asetukset kokonaan uuteen tuotteeseen. Kyselyllä saatavat asetusajat ovat asentajien kokemukseen perustuvia arvioita. Tutkimuksen suorittaja kirjaa asentajien antamat tulokset asetusaikojen osalta yksinkertaiseen taulukkoon. Asentajien arviot ovat tunnin tarkkuudella. Asetusajat ovat luottamuksellista tietoa, joten tässä työssä esitetään esimerkkituotteiden asetusajat kustannuksina. Esimerkkituotteiden nimet ovat myös luottamuksellista tietoa, joten tuotteiden nimet on muutettu tässä työssä. Asetusaikoja tarvitaan taloudellisen tuotantoerän määrittämisessä sekä kustannusten laskemiseen.

ABC-analyysi saadaan suoraan Lanka ja Muovi Oy:n käyttämästä ERP-järjestelmästä. Järjestelmään voidaan määritellä ABC-analyysin luokkien määritykset, kuten kappaleessa 2.5.1 on luokat esitelty. ABC-analyysi tekemiseen käytettiin kuvan 3 mukaisia luokitteluita. Järjestelmä listaa suoraan tuotteet myynnin mukaiseen järjestykseen, laskee yksittäisten tuotteiden %-osuudet kokonaismyynnistä ja kumulatiivisen myynnin osuuden perusteella ABC-luokat. Liitteet 1 ja 2 ovat ABC-analyysin ja kiertonopeuden osalta saatu sellaisenaan suoraan ERP-järjestelmästä. Liitteisin 1 ja 2 on laskettu lisäksi riitto nimikkeille. Riitto ja kiertonopeus on laskettu kaavojen 2 ja 5 mukaan.

Kuvassa 13 on kuvattu tilaus-toimitus-prosessi Lanka ja Muovi Oy:ssä, josta nähdään miten varastot sijoittuvat heidän toiminnassaan.



Kuva 12. Lanka ja Muovi Oy:n tilaus-toimitus-prosessi

5. KYSELYN JA TIEDONHAUN TULOKSET

Tässä kappaleessa käydään läpi ABC-analyysin tuloksia vuosilta 2017 ja 2018. Tuloksista on yhteenvedot tehty taulukoihin, joista saa yleiskuvan ABC-analyysin tuloksista. Asetusaikakyselyn tulokset esitellään myös lyhyesti.

5.1 ABC-analyysin tulokset

ABC-analyysi suoritettiin sekä vuoden 2017 myydyille nimikkeille, että vuoden 2018 syyskuun loppuun mennessä myydyille nimikkeille. Vaikka vuosi 2018 on työtä tehdessä kesken, nähdään millaista kehitys on ollut ABC-analyysin valossa. ABC-analyysin tulokset on esitelty taulukoissa 2 ja 3.

Taulukko 2. ABC-analyysin tulokset 2017

Luokka	Nimikkeiden lkm	Osuus myynnistä %	Osuus nimikkeistä %
A	105	80,20 %	16,94 %
B	133	14,83 %	21,45 %
C	382	4,97 %	61,61 %
yht	620	100,00 %	100,00 %

Taulukko 3. ABC-analyysin tulokset 01/2018-09/2018

Luokka	Nimikkeiden lkm	Osuus myynnistä %	Osuus nimikkeistä %
A	114	80,15 %	20,14 %
B	136	14,89 %	24,03 %
C	316	4,96 %	55,83 %
yht	566	100,00 %	100,00 %

Kappaleessa 2.5.1 mainittiin analyysissä käytettyjen luokkien myynnin % rajat kokonaismyynnistä. Vuoden 2017 ja vuoden 2018 välillä on pientä vaihtelua nimikkeiden osuuksissa. 2017 taulukossa A-luokkaan kuuluu n. 17% nimikkeistä, kun taas vastaava luku 2018 taulukossa on n. 20%. B-luokkaan kuuluu 2017 taulukossa reilu 21%, kun taas 2018 taulukossa vastaava luku on n. 24%. C-luokkaan kuuluu 2017 taulukossa reilu 61% ja vastaava luku 2018 taulukossa C-luokalle on n 56%.

Nimikkeitä tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon myös tuoteryhmät. Saman tuoteryhmän tuotteet esim. tietyn tyyppiset tasohyllyt ovat tuoteryhmä, jonka tuotteita ajetaan tasohitsauskoneella samalla kertaa mahdollisimman monia tarpeen mukaan. Näin tehdään, koska tasohitsauskoneella on tuoteryhmästä toiseen vaihdettaessa jopa 8 h asetusajat. Tuoteryhmän sisällä tuotteesta toiseen vaihdettaessa, asetus aika on n 0,5-1 h. Tällä on suuri merkitys läpimenoaikaan ja käytettävissä olevaan konekapasiteettiin.

Taulukossa 4 on esitetty A-luokan tuotteet tuoteryhmittäin. Kuten aikaisemmin todettiin, nimiketiedot ja tuoteryhmät ovat luottamuksellista tietoa, jonka vuoksi tuoteryhmät on muutettu taulukkoon.

Taulukko 4. ABC-analyysin A-luokan tuoteryhmät 2017 ja 2018

2017				2018			
Tuoteryhmä	% A-luokasta	% kok myynnistä	Jär. Nro	Tuoteryhmä	% A-luokasta	% kok. myynnistä	Jär. Nro
A	18,12 %	14,53 %	1	B	21,31 %	17,08 %	1
B	16,54 %	13,27 %	2	A	20,28 %	16,26 %	2
C	10,15 %	8,14 %	3	D	10,32 %	8,27 %	3
D	9,91 %	7,95 %	4	E	8,94 %	7,16 %	4
E	8,53 %	6,84 %	5	C	8,08 %	6,48 %	5
F	5,18 %	4,16 %	6	H	4,16 %	3,33 %	6
G	4,26 %	3,42 %	7	F	3,95 %	3,17 %	7
H	4,06 %	3,25 %	8	G	3,65 %	2,93 %	8
I	3,56 %	2,85 %	9	J	2,94 %	2,35 %	9
J	2,69 %	2,16 %	10	L	2,88 %	2,31 %	10
K	2,52 %	2,02 %	11	I	2,82 %	2,26 %	11
L	2,14 %	1,72 %	12	K	2,57 %	2,06 %	12
M	1,99 %	1,59 %	13	N	2,10 %	1,69 %	13
N	1,95 %	1,56 %	14	P	1,82 %	1,46 %	14
O	1,91 %	1,53 %	15	R	1,32 %	1,05 %	15
P	1,85 %	1,48 %	16	Q	1,16 %	0,93 %	16
Q	1,63 %	1,31 %	17	M	0,70 %	0,56 %	17
R	1,56 %	1,25 %	18	U	0,37 %	0,30 %	18
S	0,85 %	0,68 %	19	W	0,36 %	0,29 %	19
T	0,59 %	0,48 %	20	O	0,27 %	0,22 %	20

Vuoden 2017 ABC-analyysissä A-luokan nimikkeiden lukumäärä on 105. Vastaavasti 2018 analyysissä A-luokan nimikkeiden lukumäärä on 114. Nyt kun nämä A-luokan nimikkeet luokitellaan tuoteryhmiin, on eri tuoteryhmien määrä kumpanakin vuonna vain 20. Kun katsotaan 2017 ja 2018 vuosien tuoteryhmiä, niin tuoteryhmien keskinäinen järjestys on joiltakin osin muuttunut. Vuoden 2017 kaksi pienintä A-luokan tuoteryhmää on 2018 taulukossa pudonnut pois ja kaksi uutta on tullut tilalle. Kuitenkin huomataan, että kokonaisuudessaan A-luokan tuoteryhmät ovat melko hyvin pysyneet samoin. Erityisesti merkityksellisimmät tuoteryhmät.

Kuten aikaisemmin mainittiin, on tuoteryhmillä merkitystä tuotannonsuunnittelun kannalta. Tuoteryhmiä on helpompi hallita, koska lukumäärä on alhainen. Yksittäisen tuotteen vaihe aika on sama tuotantokoneiden ajojärjestyksestä riippumatta, mutta kokonaisläpimenoaikaan ja sitä kautta tuotannon tehokkuuteen ajojärjestyksellä on suurikin merkitys. Saman tuoteryhmän tuotteilla on pääsääntöisesti samat työvaiheet. Kun keskitytään vielä tuoteryhmiin, niin silloin A-luokan nimikkeiden valvonta helpottuu edelleen. Kun tehdään muutoksia yhteen tuotteeseen, niin samat muutokset tehdään usein kaikkiin sen tuoteryhmän tuotteisiin ja silloin muutoksen vaikutus kasvaa.

5.2 Asetusaika tulokset

Taulukossa 5 on esitetty asentajille tehdyn kyselyn tulokset. Tuotteiden asetuksiin käytetty kustannus saadaan kaavan 14 mukaan, jossa asetuksiin käytetty aika kerrotaan asentajien tuntikustannushinnalla.

$$\text{Asetuskustannus} = \text{kokonaisasetusaika } h * \text{asetuskustannus } \text{€} / h, \quad (14)$$

Kaavaa (14) käyttämällä, ollaan saatu taulukon 5 kustannukset. Näitä asetuskustannuksia tullaan käyttämään taloudellisen eräkoon sekä kokonaiskustannusten laskemiseen kappaleessa 6.

Taulukko 5. *Esimerkituotteiden asetuskustannukset*

	Tuote 1	Tuote 2	Tuote 4	Tuote 6
Asentajien kysely	420,00 €	240,00 €	1 140,00 €	960,00 €

6. TULOSTEN ANALYSOINTI

Edellisessä kappaleessa esiteltiin ABC-analyysin tulokset. Tässä kappaleessa tuloksia analysoidaan tarkemmin. Kiertonopeudet ja varaston riitot lasketaan ABC-luokille. Lisäksi tutkitaan varastoon sidottua pääomaa sekä miten se jakautuu ABC-luokkien kesken. Analyysien perusteella luodaan toimenpiteitä ja kehitysehdotuksia tuotantotoiminnan kehittämiseen. Vuoden 2018 ABC-analyysi on ajalta 01/2018 – 09/2018. ABC-analyysiä tehtäessä vuotta on vielä ollut jäljellä 3 kuukautta, jolla voi olla merkitystä koko 2018 vuoden tuloksiin. Vuoden vaihteen jälkeen ABC-analyysi pitää tehdä uudelleen koko vuodelle 2018 ja vasta sitten voidaan tehdä lopulliset päätelmät sidotun pääoman, varaston kiertonopeuden sekä riiton kehityksestä.

6.1 ABC-analyysin tulosten analysointi

Taulukoista 2 ja 3 huomataan, miten Pareto:n sääntö 20/80 toteutuu melko hyvin. 2017 vuoden tuloksissa n. 17 % vastaa 80 % myynnistä, kun vastaavasti 2018 20 % vastaa 80 % myynnistä. Tuloksista huomataan myös, että C-luokan nimikkeitä on 2017 vuonna yli 380 kpl ja 2018 vuonna yli 310 kpl. Näinkin suuresta määrästä on kumpanakin vuonna tullut vain 5 % myynnistä. Kuten aikaisemmin mainittiin, keskitytään tässä työssä A-luokan nimikkeisiin. Ne kuitenkin muodostavat 80 % kokonaismyynnistä. Vuonna 2017 nimikkeitä on ollut yli 600 kun vastaavasti vuonna 2018 nimikkeiden kokonaismäärä on selvästi alle 600. Nimikkeiden kokonaismäärä on vähentynyt tämän mukaan 10 %, mikä on osaltaan voinut vaikuttaa A-luokan tuotteiden määrän pieneniseen kasvuun.

Kehitys on ollut hyvää vuoden 2018 aikana. Nimikkeiden kokonaismäärä on pudonnut ja C-luokan nimikkeiden määrä on myöskin vähentynyt. Enemmän merkityksellisten tuotteiden määrä on kasvanut hieman ja samaan aikaan vähän merkityksellisten määrä on vähentynyt huomattavasti.

Liitteessä 1 ja 2 on esitetty vuosien 2017 ja 2018 ABC-analyysin tulokset sekä kiertonopeudet ja riitot A-luokan osalta. Koska nimiketiedot ovat luottamuksellista tietoa, on ne taulukossa muutettu. Liitteen 1 taulukosta huomataan, että vuoden 2017 analyysin 34 ensimmäistä A-luokan nimikettä muodostaa puolet koko vuoden myynnistä. Eli selvästi A-luokassa top 30 tuotetta ovat erityisen merkityksellisiä. Vastaavasti vuoden 2018 analyysin (liite 2) mukaan ensimmäiset 37 tuotetta muodostaa 50 % kokonaismyynnistä. Tämäkin kuvastaa hyvin A-luokan merkityksellisyyttä ja tärkeyttä yritykselle. A-luokan nimikkeiden määrä on molempina vuosina reilu sata. Niiden hallinta on huomattavasti helpompaa kuin kaikkien n. 600 nimikkeen.

6.2 ABC-luokkiin sitoutunut pääoma

ABC-analyysin luokkiin sitoutunutta pääomaa haluttiin myös tutkia tässä työssä. Taulukossa 6 ja 7 on esitetty luokkiin sitoutunut pääoma vuosina 2017 ja 2018.

Taulukko 6. 2017 ABC-analyysin luokkien varastoon sitoma pääoma

Luokka	Nimikkeiden lkm	Osuus myynnistä %	Osuus nimikkeistä %	Sitoutuneen pääoman osuus %
A	105	80,20 %	16,94 %	44,24 %
B	133	14,83 %	21,45 %	23,93 %
C	382	4,97 %	61,61 %	31,83 %
yht	620	100,00 %	100,00 %	100,00 %

Taulukko 7. 2018 ABC-analyysin luokkien varastoon sitoma pääoma

Luokka	Nimikkeiden lkm	Osuus myynnistä %	Osuus nimikkeistä %	Sitoutuneen pääoman osuus %
A	114	80,15 %	20,14 %	53,79 %
B	136	14,89 %	24,03 %	19,76 %
C	316	4,96 %	55,83 %	26,45 %
yht	566	100,00 %	100,00 %	100,00 %

Sitoutunut pääoma on laskettu keskimääräisen varastonarvon perusteella. Keskimääräinen varastonarvo on saatu suoraan ERP-järjestelmästä. ERP-järjestelmä on laskenut sen kaavan 3 mukaan, sillä muutoksella, että nimikkeen arvona on ollut keskihinta.

Taulukoista 6 ja 7 nähdään, että molempina vuosina sitoutunut pääoma on ollut A-luokan tuotteille suurin. 2017 yli 44 % ja 2018 yli 50 %. Näin sen kuuluukin olla, koska A-luokan tuotteet ovat yrityksen kannalta ne tärkeimmät. B- ja C-luokissa varastoon sitoutunutta pääomaa on selvästi A-luokkaa vähemmän. Mutta kuitenkin B- ja C-luokissa on edelleen noin puolet varastoon sitoutuneesta pääomasta. Huomattavaa on kuitenkin, että B- ja C-luokkiin sitoutunut pääoman määrä on vähentynyt vuonna 2018. Ja tämä vähennys on lisännyt A-luokan tuotteiden varastoon sitomaa pääomaa. C-luokkaan sitoutunut pääoma on ollut vuonna 2017 yli 30 % ja vuonna 2018 hieman yli 26 %. Tässä kohtaa kehitys on ollut hyvää, koska vähemmän tulosta tuottavien tuotteiden sitoma pääoma on vähentynyt. Tähän on voinut vaikuttaa myös nimikkeiden vähentynyt lukumäärä. A-luokan tuotteisiin voidaan sitoa enemmän pääomaa, koska niiden merkitys on yritykselle suurempi ja koska ne tuottavat 80 % myynnistä, voidaan niiden olettaa myös kuluvan varastosta. Varastoon sidotun pääoman määrän nousu tarkoittaa keskimääräisen varaston arvon nousua eli käytännössä ollaan joko lisätty varastoitavien tuotteiden määrää tai varastoidaan arvoltaan kalliimpia tuotteita.

C-luokkaan on sitoutunut 2018 yli 25 % varaston pääomasta. Vaikka C-luokan tuotteet ovat ABC-analyysissä vähemmän merkityksellisiä, sitoutuu niihin kuitenkin jonkin verran pääomaa. Koska ne ovat vähemmän myyviä tuotteita, pitää niihin sitoutuneen pääoman määrää kuitenkin tarkastella. Jos C-luokan tuotteiden varastoon sitoma pääoma kasvaa, tarkoittaa se sitä, että varastossa on kiinni pääomaa tuotteissa, jotka eivät ole myynnillisesti kovinkaan merkityksellisiä. Tässä on ehkä pieni ristiriita ABC-luokkien välillä. Jos ajatellaan luokkien tärkeyttä, niin C-luokkaan pitäisi olla sitoutuneena vähemmän pääomaa kuin luokkaan B. C-luokan tuotteita olisi hyvä tarkastella ja katsoa tarkemmin onko siellä yksittäisiä tuotteita, joilla on myyntiin nähden suuri varastoarvo.

Pitää tuki ottaa huomioon, että 2018 vuotta on vielä analyysin jälkeen kolme kuukautta jäljellä. Niillä voi olla vaikutusta analyysin tuloksiin ja analyysi pitääkin tehdä vielä vuoden vaihduttua uudestaan.

6.3 ABC-luokkien kiertonopeus

ABC-analyysin luokkien varaston kiertonopeus oli yksi tutkimuksen apukysymyksistä. Taulukoissa 8 ja 9 nähdään ABC-analyysin luokkien kiertonopeudet vuosina 2017 ja 2018 lisättynä aikaisemmin esitettyihin taulukkoihin 6 ja 7.

Taulukko 8. ABC-luokkien varaston kiertonopeus 2017

Luokka	Nimikkeiden lkm	Osuus myynnistä %	Osuus nimikkeistä %	Sitoutuneen pääoman osuus %	Varaston kiertonopeus vkoa
A	105	80,20 %	16,94 %	44,24 %	8,43
B	133	14,83 %	21,45 %	23,93 %	3,11
C	382	4,97 %	61,61 %	31,83 %	0,87
yht	620	100,00 %	100,00 %	100,00 %	4,14

Taulukko 9. ABC-luokkien varaston kiertonopeus 2018

Luokka	Nimikkeiden lkm	Osuus myynnistä %	Osuus nimikkeistä %	Sitoutuneen pääoman osuus %	Varaston kiertonopeus vkoa
A	114	80,15 %	20,14 %	53,79 %	7,87
B	136	14,89 %	24,03 %	19,76 %	3,96
C	316	4,96 %	55,83 %	26,45 %	0,45
yht	566	100,00 %	100,00 %	100,00 %	4,09

Luokkien varaston kiertonopeudet on laskettu kaavan 2 mukaan sillä muutoksella, että kaavan arvot ovat koko luokan myynti ja koko luokan keskimääräinen varaston arvo. Liitteessä 1 ja 2 on esitetty myös jokaisen yksittäisen nimikkeen kiertonopeus vuosina 2017 ja 2018. Shinkle (2002) mukaan valmistavilla yrityksillä varaston kiertonopeus on

tyypillisesti keskimäärin kuusi. Tämä tarkoittaa, että tuotteen varastosaldo menee nolleen ja varastoa täydennetään kuusi kertaa vuodessa.

Kun katsotaan taulukoita 8 ja 9, huomataan varaston kiertonopeuksien pysyneen luokkien välillä melko samalla tasolla vuosien 2017 ja 2018 välillä. A-luokan tuotteiden varaston kiertonopeus on ollut vuonna 2017 melkein 8,5 ja vuonna 2018 hieman alle 8. Tästä huomataan, että A-luokan varaston kiertonopeus on hieman laskenut eli niiden osalta varasto ei ole kiertänyt ihan samalla tasolla 2018 kuin 2017. Toki erotus on melko pieni ja edelleen ollaan A-luokan tuotteiden osalta hyvällä tasolla. B- ja C-luokkien varaston kiertonopeudet ovat selvästi A-luokkaa pienemmät, mutta toisaalta niin sen pitää ollakin. A-luokan tuotteet, jotka muodostavat 80 % liikevaihdosta kiertävät hyvin. B-luokan tuotteiden varaston kiertonopeus on hieman kasvanut 2017 vuodesta ollen 2018 syyskuussa n. 4. Tämä kehitys on hyvänsuuntaista, koska B-luokan tuotteet ovat kuitenkin merkityksellisiä. C-luokan varaston kiertonopeus on ollut molempina vuosina alle 1. Tämä ei haittaa, koska kuten kappaleessa 2.6 todettiin, C-luokan tuotteet ovat vähemmän merkityksellisiä ja niitä tarkastellaan vain satunnaisesti.

Kiertonopeudet ovat ABC-analyysin luokkien tärkeyden mukaan oikeassa järjestyksessä. A-luokan tuotteet kiertävät selvästi muita luokkia nopeammin. Tämä on tärkeää, koska A-luokkaan sitoutuu puolet varaston pääomasta. C-luokalla, joka on vähemmän merkityksellinen, on varaston kiertonopeus alhainen. Vaikka C-luokan kiertonopeus on alhainen, ei sillä ole suurta merkitystä, koska ne vastaavat vain 5 %:a kokonaismyynnistä. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, on C-luokkaan sitoutunut pääomaa enemmän kuin B-luokkaan. Jos C-luokan tuotteiden varastoon sitomaa pääomaa saadaan vähennettyä, voidaan sillä saada luokan kiertonopeutta parannettua. Taulukoissa 7 ja 8 on laskettu myös luokkien varaston kiertonopeuksien keskiarvo. Varaston keskimääräinen kiertonopeus on pysynyt melko lailla samana vuosien 2017 ja 2018 aikana olleen hieman yli neljä. Keskimääräinen kiertonopeus on alle kuuden, mutta A-luokan kiertonopeus on kuitenkin se, jolla on suurin merkitys. B-luokan kiertonopeutta voisi olla hyvä kasvattaa, koska B-luokan tuotteet muodostavat 15 % liikevaihdosta ja niillä on kuitenkin liikevaihtoon merkittävä vaikutus.

6.4 ABC-luokkien riitto

Edellisessä kappaleessa käsiteltiin varaston kiertonopeutta ja siihen liittyy myös varaston riitto. Siinä lasketaan kuinka kauan varasto riittää normaalilla kysynnällä, jos varastoa ei välillä täytetä (Slack et al. 2010). Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty vuosien 2017 ja 2018 ABC-luokkien varaston riitot.

Taulukko 10. ABC-luokkien varaston riitto 2017

Luokka	Nimikkeiden lkm	Osuus myynnistä %	Osuus nimikkeistä %	Sitoutuneen pääoman osuus %	Varaston kiertonopeus	Varaston riitto vkoa
A	105	80,20 %	16,94 %	44,24 %	8,43	5,82
B	133	14,83 %	21,45 %	23,93 %	3,11	17,02
C	382	4,97 %	61,61 %	31,83 %	0,87	67,61
yht	620	100,00 %	100,00 %	100,00 %	4,14	30,15

Taulukko 11. ABC-luokkien varaston riitto 2018

Luokka	Nimikkeiden lkm	Osuus myynnistä %	Osuus nimikkeistä %	Sitoutuneen pääoman osuus %	Varaston kiertonopeus	Varaston riitto vkoa
A	114	80,15 %	20,14 %	53,79 %	7,87	7,28
B	136	14,89 %	24,03 %	19,76 %	3,96	14,40
C	316	4,96 %	55,83 %	26,45 %	0,45	57,94
yht	566	100,00 %	100,00 %	100,00 %	4,09	26,54

Varaston riitto on laskettu kaavan 5 mukaan. A-luokan riitto on ollut vuonna 2017 hieman alle 6 viikkoa ja vuonna 2018 vastaavasti hieman yli 7 viikkoa. Samalla kun A-luokkaan sitoutuneen pääoman määrä on kasvanut, varaston riitto on kasvanut. Jos varastoon sidottu pääoma kasvaa, voi se vaikuttaa myös varaston riittoon nousevasti. Varaston riitto on sidoksissa varastoon sitoutuneeseen pääomaan, koska riitto lasketaan varaston keskimääräisestä arvosta. Myös viikoittaisella myynnillä on vaikutusta varaston riittoon kuten kaavasta 5 huomataan. B- ja C-luokkien nimikkeillä varaston riitto on molemmilla pienentynyt. Tähän on osaltaan voinut vaikuttaa luokkien varastoon sitoman pääoman väheneminen tai sitten viikoittaisen myynnin kasvaminen.

Kuvassa 4 esitettiin varaston riiton rajat ABC-luokille. Wild (2011) mukaan A-luokan riiton rajat ovat yhden ja neljän viikon välissä. B luokan riitto kahden ja kahdeksan viikon välissä ja C luokan 3 ja 20 viikon välissä. Tämän luokittelun mukaan varaston riitto on jokaisella ABC-luokalla liian korkea. Jotta riitto saataisiin edellä esitettyihin rajoihin, tulisi varaston keskimääräistä arvoa vähentää sekä tuotantotilausten eräkokoja optimoida.

6.5 Taloudellinen valmistuserä

Taloudellinen valmistuserä on kuten kuvassa 7 on esitetty, se kohta, jossa kokonaiskustannus on minimissään. Kokonaiskustannus esitettiin asetuskustannusten ja varastointikustannusten summana (kaava 10).

Kokonaiskustannuksille voimme esittää seuraavan LP-mallin:

$$\text{Yhtälö:} \quad \text{minimoi } C = \frac{Q}{2}H + \frac{D}{Q}S \quad (15)$$

$$\text{Rajoitteet:} \quad Q \leq D$$

$$Q, H, D, S > 0$$

Yhtälöllä (kaava 13) voidaan minimoida nimikkeen kokonaiskustannukset. Jotta yhtälöä voidaan käyttää, pitää huomioida muutama rajoite. Eräkkö Q ei voi olla suurempi kuin vuosittainen tarve D, koska muuten tuotantoerien määrä vuodessa olisi vähemmän kuin 1. Yhtälön muuttujien tulee kaikkien olla suurempia kuin nolla. Asetusaika ei voi olla nolla, koska muuten se tarkoittaisi sitä, ettei tuotteelle tekeminen vaatisi lainkaan asetuksen tekoa. Jokainen työvaihe, joka tuotteelle tehdään, vaatii asetuksen tekoa. Jos eräkkö Q on nolla, ei tuotetta enää valmisteta eikä tuotteelle voi laskea kustannuksia. Jos tuotetta varastoidaan, on sillä aina jokin varastointikustannus.

Taloudelliselle tuotantoerälle voidaan esittää seuraava LP-malli:

$$\text{Yhtälö:} \quad \text{minimoi } EPQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \sqrt{\frac{p}{p-u}} \quad (16)$$

$$\text{Rajoitteet:} \quad u < p$$

$$D, H, S > 0$$

$$p, u \geq 0$$

Kaavan 14 mukaan voidaan laskea taloudellinen valmistuserä nimikkeille. Nimikkeen tuotannon nopeus p on tällä hetkellä suurempi kuin nimikkeen tarve samalla aikavälillä. Jos tarve u on sama kuin tuotannon nopeus p, tulee osamäärän nimittäjään 0, jossa tapauksessa yhtälöä ei voida laskea. Tuotannon nopeus p ei voi olla negatiivinen eikä myöskään nimikkeen tarve.

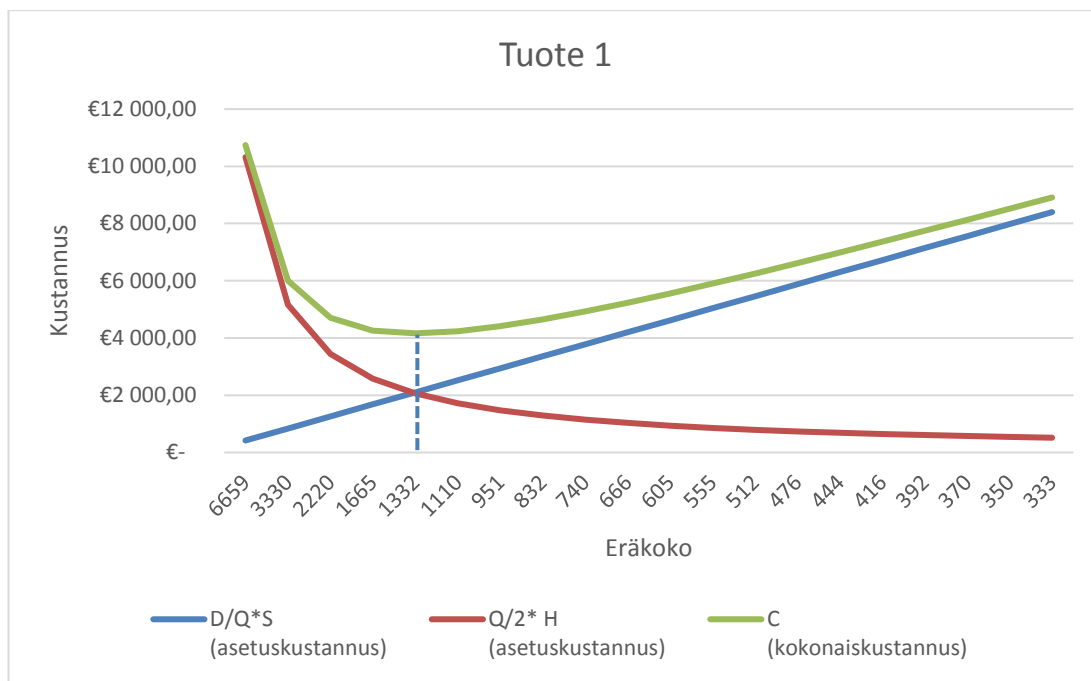
Tässä tutkimuksessa ei ole tarkoitus laskea jokaiselle nimikkeelle taloudellista valmistuserää, vaan muutaman esimerkin kautta todeta yhtälöiden 13 ja 14 soveltuvuutta taloudellisen valmistuserän määrittämiseen. Yhtälön 8 taloudellinen kerroin on seuraavissa laskelmissa 0,25.

Otetaan esimerkkituotteiksi vuoden 2017 ABC-analyysin listasta seuraavat tuotteet: Tuote 1, Tuote 2, Tuote 4 ja Tuote 6. Nämä tuotteet eroavat rakenteeltaan ja työvaiheiltaan selvästi toisistaan, jolloin saadaan hyvä kuva kaavojen 13 ja 14 toimivuudesta. Taulukoissa 12-15 on laskettu esimerkkituotteiden kokonaiskustannukset eri eräkoolla sekä taloudellinen tuotantoerä EPQ. Nämä tulokset on myös esitetty graafisesti kuvissa 13-16.

Taulukko 12. *Tuote 1 kustannukset eri tuotantoerille*

D	Tilauksia / vuosi	Q	D/Q*S	Q/2* H	C
6659	1	6659	420,00 €	10 321,45 €	10 741,45 €
	2	3330	840,00 €	5 160,73 €	6 000,73 €
	3	2220	1 260,00 €	3 440,48 €	4 700,48 €
	4	1665	1 680,00 €	2 580,36 €	4 260,36 €
	5	1332	2 100,00 €	2 064,29 €	4 164,29 €
	6	1110	2 520,00 €	1 720,24 €	4 240,24 €
	7	951	2 940,00 €	1 474,49 €	4 414,49 €
	8	832	3 360,00 €	1 290,18 €	4 650,18 €
	9	740	3 780,00 €	1 146,83 €	4 926,83 €
	10	666	4 200,00 €	1 032,15 €	5 232,15 €
	11	605	4 620,00 €	938,31 €	5 558,31 €
	12	555	5 040,00 €	860,12 €	5 900,12 €
	13	512	5 460,00 €	793,96 €	6 253,96 €
	14	476	5 880,00 €	737,25 €	6 617,25 €
	15	444	6 300,00 €	688,10 €	6 988,10 €
	16	416	6 720,00 €	645,09 €	7 365,09 €
	17	392	7 140,00 €	607,14 €	7 747,14 €
	18	370	7 560,00 €	573,41 €	8 133,41 €
	19	350	7 980,00 €	543,23 €	8 523,23 €
	20	333	8 400,00 €	516,07 €	8 916,07 €
EPQ	4,8	1386	2 018,19 €	2 147,97 €	4 166,16 €

Taulukon lyhenteet ovat samat kuin kaavassa 13. Taulukosta nähdään eri tuotantoeräkojen asetuskustannukset, varastointikustannukset sekä kokonaiskustannukset. Kokonaiskustannuksista nähdään, että tällä tuotteella 5 tilausta vuodessa eli erä koko 1332 kpl olisi kokonaiskustannuksiltaan edullisin. Taloudellinen tuotantoerä on 1386 eli käytännössä sama mikä saadaan laskemalla kokonaiskustannuksia. Niin pitääkin olla, koska EPQ:n kaava on johdettu kokonaiskustannusten kaavasta. Kuvassa 13 on esitetty taulukon 12 tulokset graafisesti.



Kuva 13. *Tuote 1* kustannusten graafinen esitys

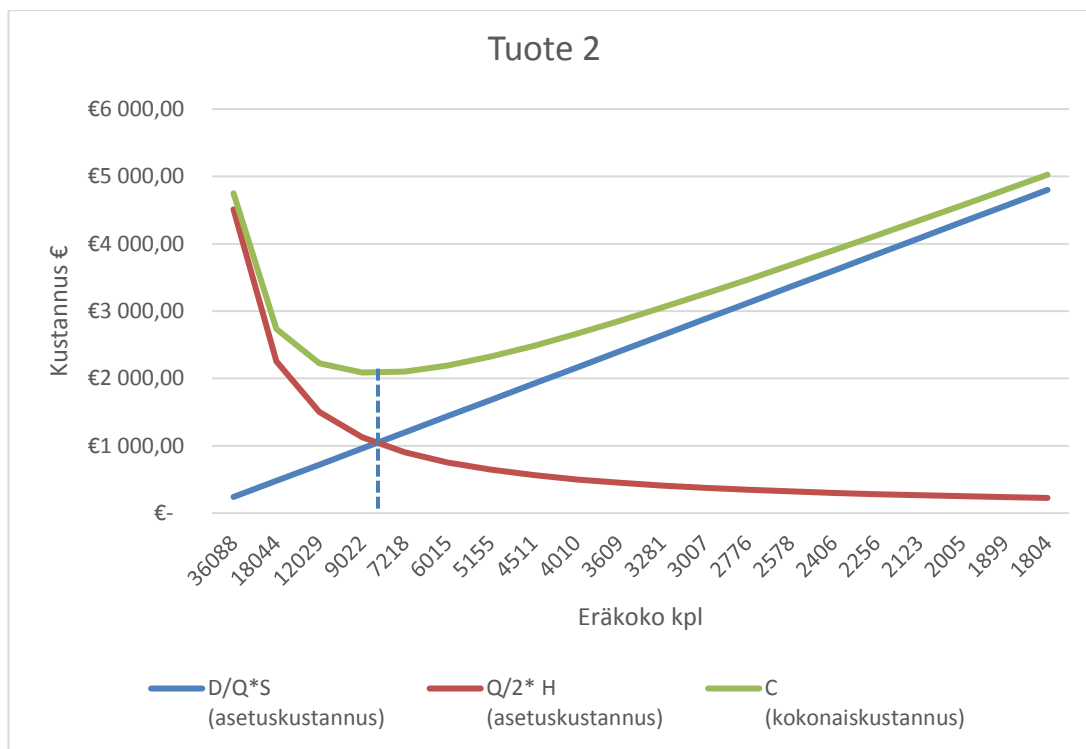
Kuvasta 13 nähdään, miten taloudellisen tuotantoerän kohdalla varastointikustannusten ($Q/2 \cdot H$) käyrä leikkaa asetuskustannusten ($D/Q \cdot S$) käyrän. Kokonaiskustannusten käyrää katsottaessa huomataan, että taloudellisen eräkoon jälkeen kokonaiskustannukset eivät nouse kovin jyrkästi. Tämä johtuu siitä, että varastointikustannukset eivät laske enää kovin jyrkästi. Itse asiassa kustannukset eivät kasva niin jyrkästi kuin mitä eräko pienenee. Esim. eräkoon pienentyessä 1332 kpl \rightarrow 832 kpl, laskee eräko reilu 37%, mutta kustannukset vastaavasti nousevat n. 20%.

Taulukossa 13 on esitetty tuotteen 2 kokonaiskustannukset ero tuotantoerille.

Taulukko 13. Tuote 2 kustannukset eri tuotantoerille

Tilauksia / D vuosi		Q	D/Q*S	Q/2* H	C
36088	1	36088	240,00 €	4 511,00 €	4 751,00 €
	2	18044	480,00 €	2 255,50 €	2 735,50 €
	3	12029	720,00 €	1 503,67 €	2 223,67 €
	4	9022	960,00 €	1 127,75 €	2 087,75 €
	5	7218	1 200,00 €	902,20 €	2 102,20 €
	6	6015	1 440,00 €	751,83 €	2 191,83 €
	7	5155	1 680,00 €	644,43 €	2 324,43 €
	8	4511	1 920,00 €	563,88 €	2 483,88 €
	9	4010	2 160,00 €	501,22 €	2 661,22 €
	10	3609	2 400,00 €	451,10 €	2 851,10 €
	11	3281	2 640,00 €	410,09 €	3 050,09 €
	12	3007	2 880,00 €	375,92 €	3 255,92 €
	13	2776	3 120,00 €	347,00 €	3 467,00 €
	14	2578	3 360,00 €	322,21 €	3 682,21 €
	15	2406	3 600,00 €	300,73 €	3 900,73 €
	16	2256	3 840,00 €	281,94 €	4 121,94 €
	17	2123	4 080,00 €	265,35 €	4 345,35 €
	18	2005	4 320,00 €	250,61 €	4 570,61 €
	19	1899	4 560,00 €	237,42 €	4 797,42 €
	20	1804	4 800,00 €	225,55 €	5 025,55 €
EPQ	4,21	8574	1 010,18 €	1 071,73 €	2 081,91 €

Tuotteen 2 kohdalla kokonaiskustannukset ovat pienimmät eräkoolla 9022 kpl. Tällä tuotteella EPQ:n arvoksi tulee 8574 kpl, mikä menee taulukon 13 eräkokojen 9022 ja 7218 väliin. Kun katsotaan noiden eräkokojen kokonaiskustannusten määrää, huomataan niiden erotuksen olevan melko pieni, vain vajaat 20€. Tällä tuotteella, kun lasketaan eräkoon muutoksen vaikutusta kokonaiskustannuksiin, niin mentäessä eräkoosta 9022 kpl -> eräkoon 4511 kpl, eräkoosta puolittuu ja kustannukset nousee n 33%. Jos verrataan tätä tuotteen 1 tuloksiin, niin huomataan, että tuotteella 2 eräkoon pienentämisellä ei ole niin suurta vaikutusta kokonaiskustannuksiin kuin tuotteella 1. Tämä selittyy tuotteen 2 pienemmällä asetuskustannuksilla ja isommalla vuosittaisella valmistusmäärällä.



Kuva 14. *Tuote 2 kustannusten graafinen esitys*

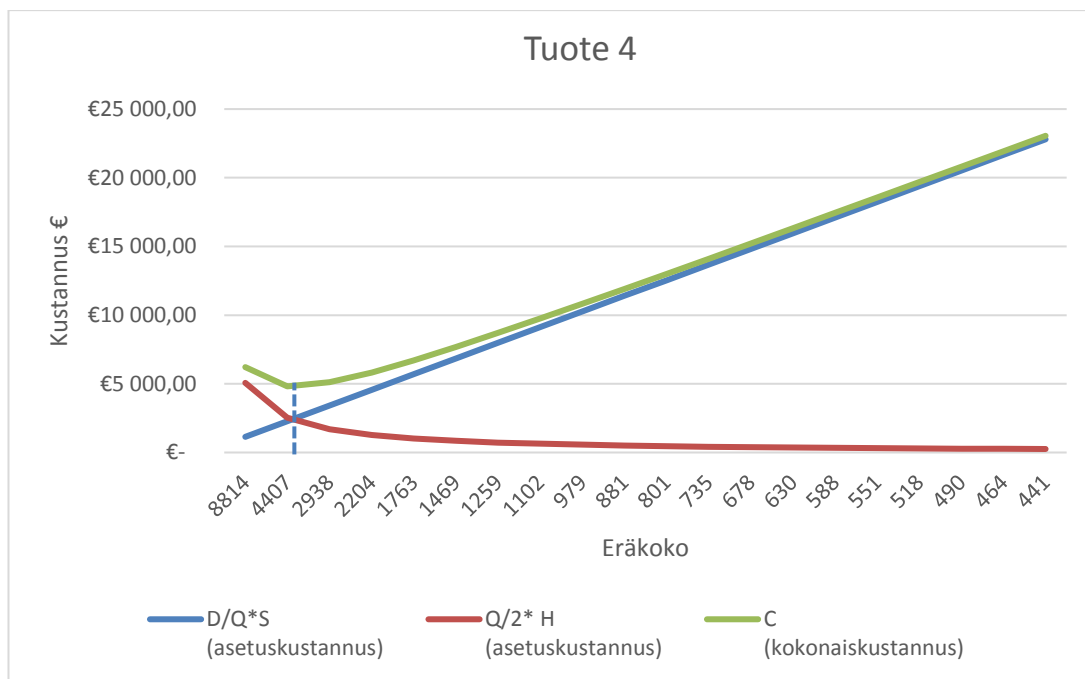
Kuvassa 14 on esitetty tuotteen 2 asetuskustannukset, varastointikustannukset sekä kokonaiskustannukset graafisesti. Kuvaajien muoto on samankaltainen tuotteen 1 kuvaajien kanssa. Molemmilla on alhaiset asetuskustannukset, joten asetuskustannukset eivät nouse kovin jyrkästi.

Seuraavalla sivulla on esitetty taulukko 14, josta nähdään tuotteen 4 kustannukset eri tuotantoerille.

Taulukko 14. Tuote 4 kustannukset eri tuotantoerille

D	Tilauksia	Q	D/Q*S	Q/2* H	C
	/ vuosi				
8814	1	8814	1 140,00 €	5 068,05 €	6 208,05 €
	2	4407	2 280,00 €	2 534,03 €	4 814,03 €
	3	2938	3 420,00 €	1 689,35 €	5 109,35 €
	4	2204	4 560,00 €	1 267,01 €	5 827,01 €
	5	1763	5 700,00 €	1 013,61 €	6 713,61 €
	6	1469	6 840,00 €	844,68 €	7 684,68 €
	7	1259	7 980,00 €	724,01 €	8 704,01 €
	8	1102	9 120,00 €	633,51 €	9 753,51 €
	9	979	10 260,00 €	563,12 €	10 823,12 €
	10	881	11 400,00 €	506,81 €	11 906,81 €
	11	801	12 540,00 €	460,73 €	13 000,73 €
	12	735	13 680,00 €	422,34 €	14 102,34 €
	13	678	14 820,00 €	389,85 €	15 209,85 €
	14	630	15 960,00 €	362,00 €	16 322,00 €
	15	588	17 100,00 €	337,87 €	17 437,87 €
	16	551	18 240,00 €	316,75 €	18 556,75 €
	17	518	19 380,00 €	298,12 €	19 678,12 €
	18	490	20 520,00 €	281,56 €	20 801,56 €
	19	464	21 660,00 €	266,74 €	21 926,74 €
	20	441	22 800,00 €	253,40 €	23 053,40 €
EPQ	2,02	4362	2 303,66 €	2 507,99 €	4 811,66 €

Taulukosta nähdään, että eräkoolla 4407 kpl kokonaiskustannukset ovat pienimmät. Tällä tuotteella eräkoon pienentäminen 4407 kpl -> 2204 kpl, laskee eräkoko 50%, mutta kustannukset nousevat vain 12%. Yksi syy tähän voi olla tuotteen suuret asetuskustannukset. Tällä tuotteella on korkein asetus aika kaikista esimerkkituotteista. Taloudellinen tuotantoerä EPQ on 4362 kpl. Tällä eräkoolla kustannukset olisivat 4811,66€. Seuraavalla sivulla on esitetty tuotteen 4 kustannukset vielä graafisesti.



Kuva 15. *Tuote 4 kustannusten graafinen esitys*

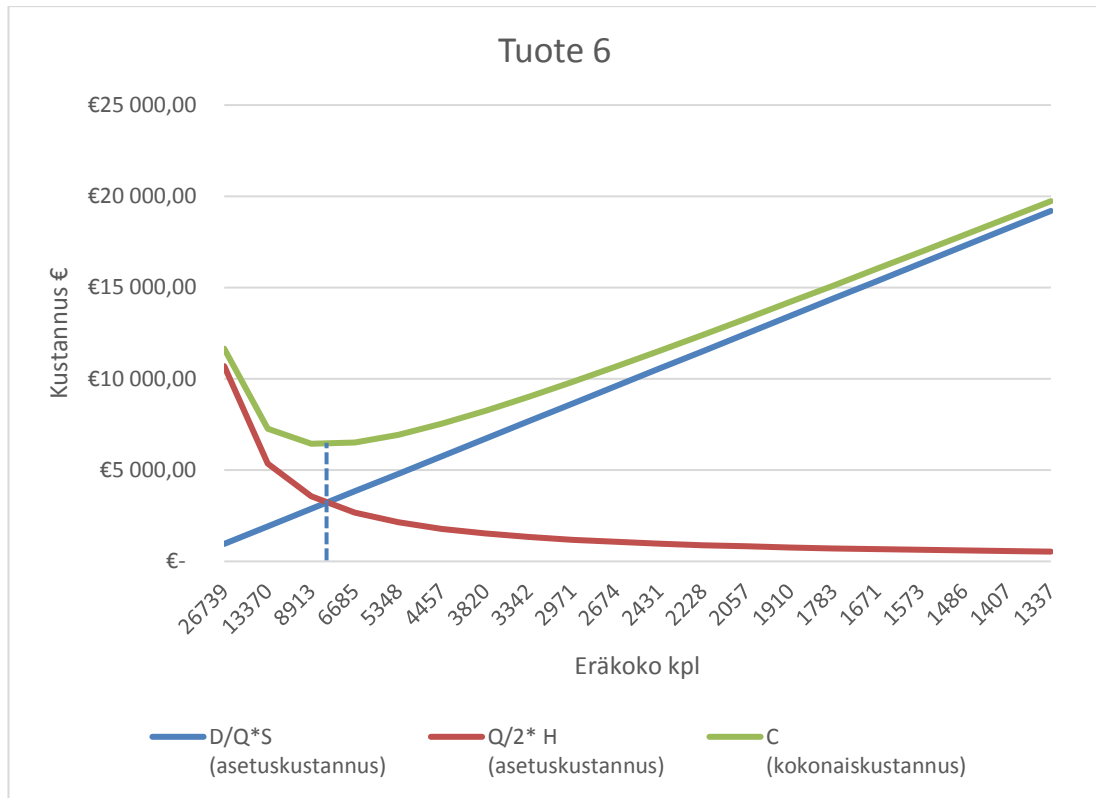
Tuotteen 4 kustannuskäyrät ovat muodoltaan selvästi erilaiset kuin tuotteilla 1 ja 2. Kuten aikaisemmin mainittiin tähän vaikuttaa suurimmaksi osaksi tuotteen suuret asetuskustannukset. Tuotantoerän koon pienentyessä juuri asetuskustannuksilla on todella suuri merkitys kokonaiskustannuksista varastointikustannusten ollessa suhteessa asetuskustannuksiin melko pienet pienillä tuotantoerillä. Juuri suurten asetuskustannusten vuoksi taloudellinen valmistuserä on tälle tuotteelle vajaa puolet vuosittaisesta tarpeesta.

Taulukossa 15 on esitetty tuotteen 6 kustannukset eri tuotantomäärille.

Taulukko 15. Tuote 6 kustannukset eri tuotantoerille

Tilauksia / D vuosi		Q	D/Q*S	Q/2* H	C
26739	1	26739	960,00 €	10 695,60 €	11 655,60 €
	2	13370	1 920,00 €	5 347,80 €	7 267,80 €
	3	8913	2 880,00 €	3 565,20 €	6 445,20 €
	4	6685	3 840,00 €	2 673,90 €	6 513,90 €
	5	5348	4 800,00 €	2 139,12 €	6 939,12 €
	6	4457	5 760,00 €	1 782,60 €	7 542,60 €
	7	3820	6 720,00 €	1 527,94 €	8 247,94 €
	8	3342	7 680,00 €	1 336,95 €	9 016,95 €
	9	2971	8 640,00 €	1 188,40 €	9 828,40 €
	10	2674	9 600,00 €	1 069,56 €	10 669,56 €
	11	2431	10 560,00 €	972,33 €	11 532,33 €
	12	2228	11 520,00 €	891,30 €	12 411,30 €
	13	2057	12 480,00 €	822,74 €	13 302,74 €
	14	1910	13 440,00 €	763,97 €	14 203,97 €
	15	1783	14 400,00 €	713,04 €	15 113,04 €
	16	1671	15 360,00 €	668,48 €	16 028,48 €
	17	1573	16 320,00 €	629,15 €	16 949,15 €
	18	1486	17 280,00 €	594,20 €	17 874,20 €
	19	1407	18 240,00 €	562,93 €	18 802,93 €
	20	1337	19 200,00 €	534,78 €	19 734,78 €
EPQ	3,02	8859	2 897,42 €	3 543,76 €	6 441,18 €

Taulukon tulosten perusteella saadaan tuotteelle 6 eräkoolle 8913 kpl alhaisimmat kokonaiskustannukset. Kun lasketaan taloudellinen eräkoko EPQ kaavan 14 mukaan, saadaan eräkooksi EPQ 8859 kpl. Tällä tuotteella on myöskin suhteellisen suuri asetuskustannus, joka vaikuttaa suurimmalta osin korkeaan eräkokoon. Taulukosta nähdään, että eräköön pienentyessä taulukon antamasta 8913 kpl -> 4457 kpl, pienenee eräkoko 50%, mutta kustannukset nousevat vain reilu 15%. Kuvassa 16 on esitetty tuotteen 6 kustannukset graafisesti.



Kuva 16. *Tuote 6 kustannusten graafinen esitys*

Tuotteen 6 kustannuskäyrät ovat muodoltaan enemmän tuotteen 4 kaltaiset, kuin tuotteiden 1 ja 2. Tämä johtuu suurista asennuskustannuksista.

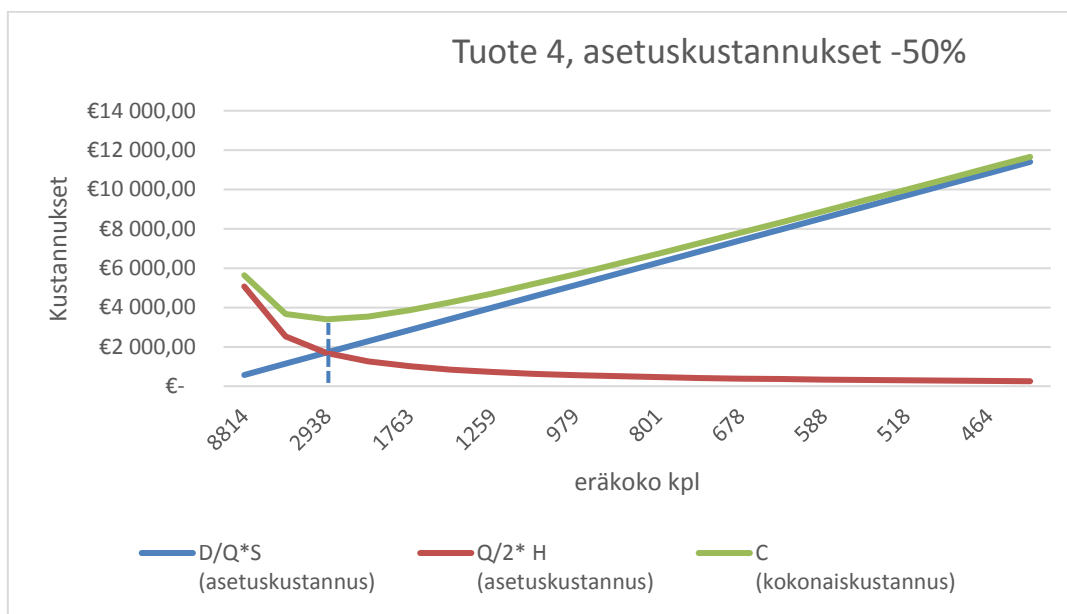
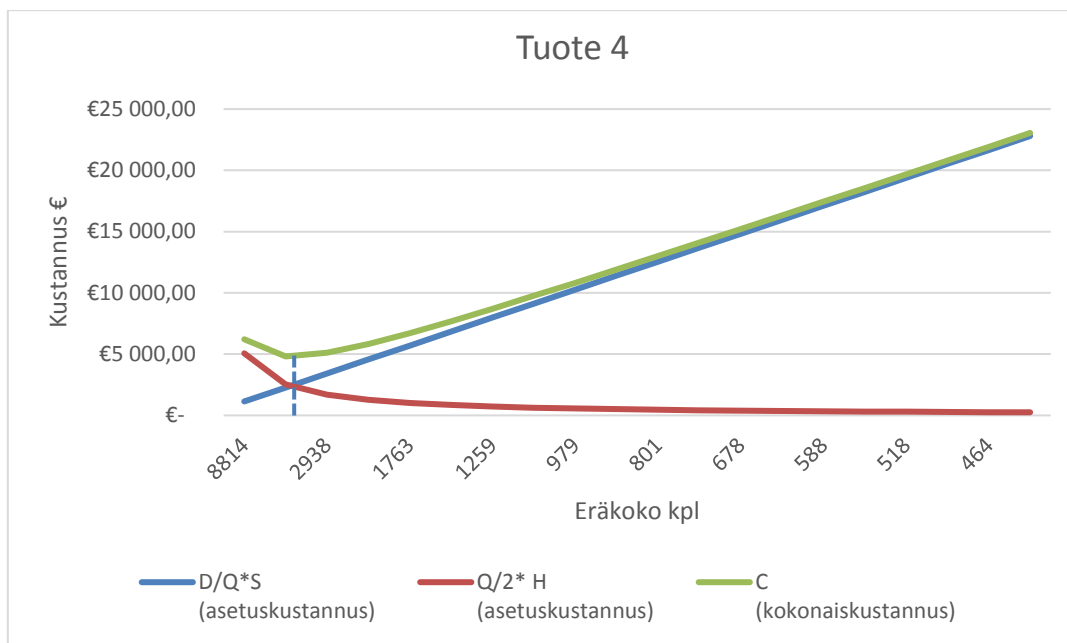
6.6 Asetusaikojen vaikutus taloudelliseen tuotantoerään

Kun mietitään asetusajojen merkitystä tuotteen kokonaiskustannuksiin, niin antaa aikaisemmin esitetyt taulukot 12-15 sekä kuvat 13-16 selkeän kuvan, kuinka suuri merkitys asetusajoilla voi olla. Otetaan esimerkkinä tuote 4, jolla on kaikkein suurin asetus aika näistä tuotteista. Jos se saataisiin puolitettua, tulokset olisi tuotteelle 4 taulukon 16 mukaiset.

Taulukko 16. Tuote 4 kustannukset eri tuotantoerille (asetuskustannukset -50%)

Tilauksia					
	/				
D	vuosi	Q	D/Q*S	Q/2* H	C
8814	1	8814	570,00 €	5 068,05 €	5 638,05 €
	2	4407	1 140,00 €	2 534,03 €	3 674,03 €
	3	2938	1 710,00 €	1 689,35 €	3 399,35 €
	4	2204	2 280,00 €	1 267,01 €	3 547,01 €
	5	1763	2 850,00 €	1 013,61 €	3 863,61 €
	6	1469	3 420,00 €	844,68 €	4 264,68 €
	7	1259	3 990,00 €	724,01 €	4 714,01 €
	8	1102	4 560,00 €	633,51 €	5 193,51 €
	9	979	5 130,00 €	563,12 €	5 693,12 €
	10	881	5 700,00 €	506,81 €	6 206,81 €
	11	801	6 270,00 €	460,73 €	6 730,73 €
	12	735	6 840,00 €	422,34 €	7 262,34 €
	13	678	7 410,00 €	389,85 €	7 799,85 €
	14	630	7 980,00 €	362,00 €	8 342,00 €
	15	588	8 550,00 €	337,87 €	8 887,87 €
	16	551	9 120,00 €	316,75 €	9 436,75 €
	17	518	9 690,00 €	298,12 €	9 988,12 €
	18	490	10 260,00 €	281,56 €	10 541,56 €
	19	464	10 830,00 €	266,74 €	11 096,74 €
	20	441	11 400,00 €	253,40 €	11 653,40 €
EPQ	2,02	4362	1 151,83 €	2 507,99 €	3 659,83 €

Nyt huomataan, että pienimmät kokonaiskustannukset olisivatkin eräkoolla EPQ 2938 kpl. Asetusaikojen ja sitä kautta asetuskustannusten puolittaminen vähensi taloudellisen tuotantoerän kustannuksia noin 30%. Tämä tarkoittaa toisaalta myös sitä, että ennen asetusaikojen puolitusta olevalla EPQ kustannuksilla voitaisiin nyt puolitetuilla asetuskustannuksilla ajaa selvästi pienempiä eräkoja. Eli nyt voitaisiin samalla kustannuksella pitää eräkokona 1259 kpl. Seuraavassa kuvassa (kuva 17) nähdään vielä allekkain tuotteen 4 osalta kustannuskäyrät.



Kuva 17. *Tuote 4 asetuskustannuksen muutos kokonaiskustannuksiin*

Kuvasta 17 nähdään, mikä kokonaisvaikutus asetusajan puolittamisella on tuotteen 4 kokonaiskustannuksiin. Vaikutus on merkittävä. Kokonaiskustannusten avulla voidaan hyvin perustella, miksi asetuskustannuksia kannattaa optimoida ja vähentää. Ja tästä myös nähdään yksi menetelmä, jolla voidaan laskea tuotantotoiminnan kehittämisen hyötyjä.

6.7 Tulosten yhteenveto

Kappaleessa 6.5 määriteltiin esimerkituotteille taloudelliset tuotantoerät kaavan 14 mukaan. Kuten teoriaosuudessa mainittiin, pidetään EOQ:n ja EPQ:n kaavoilla saatuja tuloksia liian suurina. Wild (2010) mukaan kustannukset oikeasti ovat pienimmillään

yleensä 60% EOQ:a pienemmillä erillä. Haverila et al. (2006) mukaan todellisuudessa EOQ arvot ovat 2-4 kertaa pienemmät. Oikea taso löydetään kokemuksen ja käytännön kautta. Seuraavassa taulukossa (taulukko 17) on esitetty esimerkkituotteiden vuosittainen menekki, kiertonopeus, varaston riitto, EPQ sekä EPQ – 60%. EPQ – 60% on otettu Wild (2011) esittämästä EPQ:n todellisesta arvosta.

Taulukko 17. *Esimerkkituotteiden kiertonopeus, riitto, EPQ, EPQ-60%*

Tuote	Varaston kiertonopeus	Varaston riitto vkoa	EPQ	EPQ - 60%
Tuote 1	23,25	2,7	1386	554
Tuote 2	12,3	4,4	8574	3430
Tuote 4	20,05	2,6	4362	1745
Tuote 6	47,03	1,6	8859	3544

Taulukosta 17 nähdään esimerkkituotteiden analysoinnin kooste. Kaikki esimerkkituotteet ovat A-luokan tuotteita ja jokaisella tuotteella kiertonopeus ja riitto ovat hyvällä tasolla. Jos riiton kohdalla katsotaan Wild (2011) esittämää rajaa A-luokan tuotteille, joka oli 1-4 vkoa, niin tuotteen 2 kohdalla ollaan hieman tämän yli. Siinä ylitys on pientä. Jos verrataan EPQ arvoa vuosittaiseen menekkiin, niin tuotteen 1 kohdalla EPQ:n mukaan pitäisi vuodessa valmistaa tuotetta 5 kertaa. Jos käytetään tuotteen 1 kohdalla Wild (2011) ehdottamaa eräkokoa, joka on EPQ – 60%, saadaan eräkooksi 554 kpl ja tällöin tuotetta pitäisi valmistaa vuodessa 12-13 kertaa. Eli muutos on aika merkittävä valmistuserien lukumäärässä. Taulukossa 18 nähdään EPQ:n sekä alennetun EPQ:n kokonaiskustannukset esimerkkituotteille.

Taulukko 18. *Esimerkkituotteiden kooste 2*

Tuote	kierto- nopeus	riitto vkoa	EPQ	EPQ kust	EPQ - 60%	EPQ - 60% kust	EPQ kust ero
Tuote 1	23,25	2,2	1386	4 164,29 €	554	5 904,67 €	41,79 %
Tuote 2	12,3	4,3	8574	2 087,75 €	3430	2 954,13 €	41,50 %
Tuote 4	20,05	2,6	4362	4 814,03 €	1745	6 762,36 €	40,47 %
Tuote 6	40,96	1,6	8859	6 445,20 €	3544	8 661,06 €	34,38 %

Taulukosta 18 nähdään, että jos pienennämme EPQ:ta 60%, niin kokonaiskustannukset nousisivat tuotteesta riippuen 30-40%. Kuten aikaisemmin todettiin, niin EPQ laskentakaava antaa eri arvioiden mukaan n. 60% liian suuria arvioita. Kuten aikaisemmin myös mainittiin, EPQ:n laskentakaavassa tehdään yksinkertaistavia oletuksia ja sen vuoksi kaava ei huomioi varaston kasvun haitallisia vaikutuksia sekä asetuskustannusten laskua eräkoon kasvaessa. Kuitenkin kokonaiskustannusten kaavaa on hyvä käyttää, kun halu-

taan esim. optimoida asetusajoja. Kaavan avulla saadaan hyvä käsitys, miten asetuskustannukset vaikuttavat kokonaiskustannuksiin. Lisäksi kaavan avulla voidaan tutkia miten kokonaiskustannukset muuttuvat, jos tulee muutoksia tuotteen hintaan tai varastointikustannuksiin.

Kun lisätään taulukkoon 17 vielä esimerkkituotteiden keskimääräiset varastomäärät, joiden perusteella riitto lasketaan, niin voidaan verrata Wild (2011) mukaan laskettua EPQ arvoa keskimääräiseen varastomäärään, niin saadaan taulukon 19 mukaiset arvot.

Taulukko 19. *Esimerkkituotteet EPQ vs riitto*

Tuote	Varaston kiertonopeus	Varaston riitto vkoa	keskiva- rasto	EPQ	EPQ - 60%
Tuote 1	23,25	2,2	286,4	1386	554
Tuote 2	12,3	4,3	2999,6	8574	3430
Tuote 4	20,05	2,6	439,6	4362	1745
Tuote 6	40,96	1,2	652,8	8859	3544

Taulukosta huomataan, että alennettu EPQ antaa eräkojoja, jotka ovat paremmin suhteessa riittoon sekä keskivarastoon. Tuotteilla 4 ja 6 EPQ on isompi suhteessa keskivarastoon ja riittoon. Tämä johtuu siitä, että näillä kahdella mainitulla tuotteella on selvästi suuremmat asetusajat kuin tuotteilla 1 ja 2. Taulukossa 20 on vielä verrattu alennettua EPQ arvoa keskivarastoon.

Taulukko 20. *Esimerkkituotteiden alennettu EPQ vs keskivarasto*

Tuote	Varaston riitto vkoa	keskivarasto	EPQ - 60%	EPQ -60% vs keskivarasto
Tuote 1	2,2	286,4	554	1,9
Tuote 2	4,3	2999,6	3430	1,1
Tuote 4	2,6	439,6	1745	4,0
Tuote 6	1,6	763,7	3544	4,6

Taulukosta nähdään, kuinka iso esimerkkituotteiden EPQ-60% on verrattuna tuotteiden keskivarastoon. Tuo 60% alennus EPQ:n arvoon antaa eräkojoja, jotka ovat paremmin sopusoinnussa keskivarastoon ja riittoon. Taulukon viimeisessä sarakkeessa on esitetty EPQ – 60% suuruus suhteessa keskivarastoon. Tuotteella 1 EPQ-60% on 1,9 kertaa suurempi kuin kyseisen tuotteen keskivarasto. Tuotteella 2 vastaava luku on 1,1. Tuotteella 4 EPQ-60% on 4 kertaa suurempi kuin tuotteen keskivarasto. Vastaavasti tuotteella 6 kyseinen luku on 4,6. Tästä huomataan, että tuotteilla 1 ja 2 EPQ-60% antaa eräkojoja, jotka vastaavat n 4vkon riittoa. Vastaavasti tuotteilla 4 ja 6 EPQ-60% antaa eräkojoja, jotka vastaavat riitoltaan selvästi yli Wild (2011) esittämiä A-luokan riiton rajoja. Tähän suurin

vaikutus on asetusajalta. Eli asetusajan pienentämisellä EPQ-60% antamat eräkoot ovat paremmin linjassa riiton ja keskivaraston kanssa.

6.8 Toimenpide-ehdotukset

ABC-analyysi tulisi tehdä säännöllisesti, jotta nähdään miten tuotteiden luokitukset muuttuvat. Lisäksi ABC-analyysiä tulisi käyttää läpi organisaation määrittelemään tuotteiden tärkeyttä yritykselle. Kun yhdistetään ABC-analyysi taulukon 11 mukaisesti sidottuun pääomaan, varaston kiertonopeuteen sekä riittoon, saadaan hyvä yleiskuva varaston tilasta. Tätä tulisi seurata säännöllisesti, jotta nähdään varaston kehitys sekä miten eri luokat sijoittuvat toisiinsa nähden. Tämän analyysin perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksista.

Tulosten mukaan luokkien kiertonopeudet ovat hyvällä tasolla. Varaston riitto on ABC-luokkien kokonaisuuden osalta hieman korkeat ja niitä olisi hyvä saada alemmalle tasolle. Riittoon voidaan vaikuttaa tuotannon eräkoolla. A-luokan tuotteiden eräkojoja tulisi tarkistaa esitetyn taulukon 19 mukaisella vertailulla. EPQ:n arvon alentaminen 60% antaa eräkojoja, jotka sopivat paremmin riittoon ja keskivarastoon ja niiden avulla saadaan varastotasoja oikeammalle tasolle. Lisäksi näiden tulosten perusteella asetusajoja tulisi lyhentää, jotta saadaan kokonaiskustannuksia alennettua ja tuotannon eräkojoja pienemmäksi.

B-luokan tuotteille voidaan käyttää EPQ kaavaa tai sitten määritellä eräkoot siten, että riitto olisi kuvan 4 mukaisissa rajoissa. Esimerkiksi siten, että eräkojo vastaisi 8 viikon tarvetta. C-luokan tuotteilla eräkojojen määrittelyyn kannattaa käyttää vain pelkkää riittoa. Silloin niihin ei tule käytettyä liikaa aikaa.

7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tutkittiin varastohallinnan keinoja tuotannon kehittämiseen. Tutkimuksen pohjana oli Lanka ja Muovi Oy:n itse valmistamille nimikkeille tehty ABC-analyysi. ABC-analyysi pohjalta tutkittiin varastoon sidottua pääomaa, kiertonopeuksia, riittoa ja lisäksi tutkittiin taloudellisen tuotantoerän EPQ soveltuvuutta tuotannon eräkokojen määrittämiseen tutkimuksen teoriaosuuteen pohjautuen. Näiden perusteella tuli osoittaa, että näiden menetelmien pohjalta voidaan kehittää tuotantotoimintaa.

Tutkimuksen teoriaosuudessa käsiteltiin varastohallintaa ja sen merkitystä yrityksen tulokselliseen toimintaan. Lisäksi teoriaosuudessa esiteltiin varaston täydentämismalleja ja nimikkeiden luokittelu menetelmiä. Teoriaosuuden loppupuolella käsiteltiin operaatiotutkimusta ja miten sen avulla voidaan ratkaista tuotannon ongelmia.

Luvuissa 5 ja 6 esiteltiin ABC-analyysin tuloksia sekä analysoitiin saatuja tuloksia. Saatut tulokset antoivat hyvän kuvan varaston nykytilasta. Tämän hetkinen tilanne on hyvä ja parannusta oli tullut 2017 vuodesta. Kuitenkin edelleen parannettavaa on. A-luokan tuotteilla kiertonopeus oli kohtuullisella tasolla. Parempikin varaston kierto voisi olla ja siihen tulee kiinnittää jatkossa huomiota. Eräänlaisena ohjesääntöä kiertonopeudelle voidaan pitää teoriaosuudessa esitettyä arvoa 6, joka on erään lähteen mukaan valmistavan teollisuuden keskimääräinen varaston kiertonopeus. Riitto on tulosten mukaan hieman korkea. Varaston riittoa tulisi seurata säännöllisesti ja tehdä korjaavia toimenpiteitä saatujen tulosten mukaan. EPQ:n avulla voidaan vaikuttaa varaston riittoon, kun valmistetaan kokonaisuuden kannalta taloudellisia eräkokoja. Varastoon sidottua pääomaa ABC-luokkien kesken on hyvä seurata säännöllisesti. Erityisesti C-luokan tuotteiden eräkokojen määrittäminen riiton perusteella pitäisi laskea C-luokkaan sidottua pääomaa.

Työn aihe tuotantotoiminnan kehittäminen varastohallinnan avulla on erittäin mielenkiintoine aihe. Tuotannon kannalta ABC-analyysi on tärkeä työkalu. Kun tuotteet on luokiteltu, niin tuotannossakin voidaan töiden priorisoinnissa käyttää ABC-luokitusta. Ja toisaalta A-luokan tuotteiden valmistusprosessia ja asetusaikoja kannattaa koko ajan voimakkaasti kehittää. A-luokan tuotteilla on kuitenkin suurin vaikutus yrityksen tulokseen. Riitto ja EPQ antavat tuotannolle tietoa siitä, millaisia eräkokoja kannattaa käyttää varastohallinnan ja sitä kautta yrityksen kannattavuuden näkökulmasta. Kokonaiskustannusten kaavaa voidaan käyttää asetusaikojen kehityspotentiaalin määrittämiseen. Kokonaiskustannustenkaavalla saadaan hyvinkin selkeästi osoitettua, millaisia säästöjä asetusaikojen pienentämisellä on. Toisaalta tässä työssä esitetyt menetelmät tukevat tuotannon kehittämistä myös siten, että tiedetään mitä tuotteita kannattaa valmistaa ja millä tuotantokoneilla. Välttämättä C-luokan tuotteita ei kannata valmistaa automaattikoneilla, koska määrät ovat pienet ja tätä kautta kokonaiskustannukset nousisivat kovinkin korkeaksi.

Tässä työssä käsiteltiin valmistuotevaraston nimikkeitä. Lanka ja Muovi Oy:ssä ollaan ottamassa käyttöön ERP-järjestelmään myös puolivalmiiden varastoa. Kun puolivalmiiden varasto toimii kokonaan ja tiedot ovat luotettavasti saatavilla ERP-järjestelmästä, pitää tässä työssä tehtyjä analyysseja tehdä myös puolivalmiille tuotteille. Varsinkin riitto ja kiertonopeus ovat tärkeitä. Puolivalmiit tuotteet ovat melko lähellä valmiita tuotteita, koska niistä puuttuu pinnoitus. Usein tehdään siten, että tuotteita valmistetaan puolivalmiiksi isompi määrä ja sitten asiakastarpeen mukaan pinnoitetaan halutulla värillä. Tämä korostaa hyvin puolivalmisvaraston tärkeyttä ja miksi myös sen varaston tuotteille pitää vastaavat analyysit tehdä. Voi olla, että valmistuotevaraston nimikkeiden osalta on turhankin hyvä kuva tehtyjen analyysien varjossa, koska valmiiksi tehdään usein vain välitön tarve ja puolivalmiina on huomattavasti suurempi määrä. Kun yhdistetään sekä valmistuotevaraston, että puolivalmisvaraston riitot ja kiertonopeudet, saadaan vielä parempi kuva kokonaistilanteesta.

Tutkimuksen alussa esitettyihin kysymyksiin saatiin vastaukset. Työssä esitetyt varastonhallinnan menetelmät soveltuvat hyvin tuotannon ohjaamiseen. EPQ:n osalta todettiin, että EPQ:n kaava on paremmin linjassa riiton kanssa, kun käytetään Wild (2011) esittämiä EPQ – 60% määriä. Työn rajausta muuttui tutkimuksen aikana. Aluksi oli ajatus, että EPQ määriteltäisiin kaikille A-luokan tuotteille, mutta kuitenkin ajankäytön vuoksi päätettiin luomaan malli, jonka avulla voidaan jatkossa määritellä eräkoja tuotteille.

Tutkimuksen reliabiliteetti on melko hyvä. ABC-analyysiä ei tehty koko 2018 vuodelta, joka voi hieman vaikuttaa tuloksiin, kun tarkastellaan vuosien 2017 ja 2018 aikana tapahtunutta kehitystä. Tuloksia tarkasteltaessa on hyvä ottaa huomioon, että hieman voi vielä tulla loppuvuoden aikana muutosta. Taloudellista tuotantoerää laskettaessa on hyvä huomioida eri teorialähteiden arviot EPQ kaavan antamien arvojen todenmukaisuudelle. Tässä tutkimuksessa päätettiin vähentää saatuja EPQ arvoja 60%:lla. Onko tämä vähennys oikea, selviää kokemusten kautta.

Tämän tutkimuksen validiteetti on todettu hyväksi. Lanka ja Muovi Oy:llä oli selkeä tarve tutkia varaston nykytila ja saada konkreettista tietoa varastoitavista nimikkeistä. ABC-analyysi tutkimuksen pohjana oli tärkeä lähtökohta. Ilman sitä analyysien teko jokaiselle nimikkeelle olisi ollut ollut todella työlästä. Taloudellista tuotantoerää ei olisi kannattanut laskea kaikkein vähiten myyville nimikkeille. Nyt voidaan keskittää voimavaroja yrityksen kannalta tärkeimpiin tuotteisiin.

Kokonaisuudessaan tämä tutkimus antoi mielestäni hyvän kuvauksen, mikä merkitys varastonhallinnalla on koko yrityksen toiminnalle, sekä miten varastonhallinnan avulla voidaan kehittää tuotantotoimintaa. Saadut tulokset tukivat tutkimuksen alussa esitettyä tutkimuskysymystä ja siitä saatuja apukysymyksiä.

LÄHTEET

Ackoff, R.L., Holstein, W.K., Tanenbaum, M., Eilon, S. Operations research, May 2017, Britannica Academic. Saatavissa: <https://academic-eb-com.libproxy.tut.fi/levels/collegiate/article/operations-research/106307>

Aulanko, M., Huovinen, M., Kiikka, K., Lehtinen, M-L. Teemana työ, 2010

EK-SAK tuottavuustyöryhmä. Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita, 2011

Gupta, M., Baxendale, S. The Enabling role of abc systems in operations management, Cost Management; Sep/Oct 2008; 22, 5; ProQuest Central, pg. 5

Haverila, M.J., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., Miettinen, A. Teollisuustalous, kuudes painos, 2009.

Hurlbert, G.H. Linear Optimization - The Simplex Workbook, 2000

Hyttinen, J. Teknisten varasto-ohjautuvien tuotteiden hyllyynkantopalvelun analysointi ja kehittäminen. diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, 2016

Karlöf, A. Tehokas johtaminen, yritystalouden kaivattu ydin, 2004

Krajewski, L.J., Ritzman, L.P. Operations Management, Processes and Value Chains, seventh edition, 2005.

Lieberman, H. Introduction to Operations Research, Eight Edition, 2005

Liu, J., Liao, X., Zhao, W., Yang, N. A classification approach based on the outranking model for multiple criteria ABC analysis, 2015

Muller, M. Essentials of Inventory Management, second edition, 2011

Möller, K., Rajala, A., Svahn, S. Tulevaisuutena liiketoimintaverkot, Johtaminen ja arvovuonluonti, toinen painos, 2006

Prater, E., Whitehead, K. An Introduction to Supply Chain Management: A Global Supply Chain Support Perspective, Business Expert Press, 2012. ProQuest Ebook Central, Saatavissa: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/tut/detail.action?docID=1048409>

Ramanathan, R., ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization, *Computers & Operations Research* 33 (2006) 695–700

Rardin, R. L. *Optimization In Operations Research*, 1998

Rusănescu, M. Abc analysis, Model for classifying inventory, *Hidarulica* (No. 2/2014), Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics.

Saaranen-Kauppinen A. & Puusniekka, A. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto [verkkajulkaisu]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietovarasto [ylläpitäjä ja tuottaja]. <<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/>>. (Viitattu 8.11.2018.)

Shinkle, K. A. Measure Of Success Can Be Speed At Which Firms Move Goods; Inventory turnover is a key ratio, but one CEO says it's not always best, *Investor's Business Daily*, Los Angeles, 10 Dec 2002. Saatavissa:

<https://search.proquest.com/docview/1027124073?accountid=27303>

Slack, N., Chambers, S., R. Johnston, *Operations management*, sixth edition, 2010.

Smith-Daniels, V.L., Ritzman, L.P. A model for lot sizing and sequencing in process industries, *Int. J. prod. res.*, 1988, vol. 26, no. 4, 647-674

Sprague, L.G., Ritzman, L.P., Krajewski, L.J. Production Planning, inventory Management and Scheduling: Spanning the boundaries, *Managerial and Decision Economics* (1986-1998); Dec 1990; 11, 5; ProQuest Central, pg. 297

Stevenson, W. J. *Operations Management*, tenth edition, 2009

Taha, H.A. *Operations Research: An Introduction*, Seventh Edition, 2003

Teunter, R.H., Babai, M.Z., Syntetos, A.A. Abc classification: Service levels and inventory costs, *Production and Operations Management*; May/Jun 2010; 19, 3; ProQuest Central, s. 343

Uusi-Rauva, E. *Tuottavuus – mittaa ja menesty*, toinen painos, 1997

Wild, T., *Best Practice in Inventory management*, second edition, 2011

Yu, M. Multi-criteria ABC analysis using artificial-intelligence-based classification techniques, 2010

LIITE 1: 2017 NIMIKKEIDEN ANALYYSIT

Taulukko 21. *Nimikkeiden A-luokan ABC-analyysi, kiertonopeus ja riitto 2017*

Nimi	% kok. Myynnistä	% kumul. Myynnistä	Järjno	Luokka	Kierto- nopeus	Riitto/ vkoa
Tuote 1	5,79	5,79	1	a	23,3	2,7
Tuote 2	2,93	8,72	2	a	12,0	4,4
Tuote 3	2,86	11,58	3	a	10,8	5,0
Tuote 4	2,55	14,13	4	a	22,7	0,8
Tuote 5	2,5	16,63	5	a	20,1	3,5
Tuote 6	2,27	18,9	6	a	47,0	1,8
Tuote 7	2,02	20,92	7	a	15,3	3,4
Tuote 8	1,74	22,66	8	a	20,3	2,8
Tuote 9	1,62	24,28	9	a	31,5	2,5
Tuote 10	1,58	25,86	10	a	34,1	1,4
Tuote 11	1,55	27,41	11	a	13,6	3,8
Tuote 12	1,5	28,91	12	a	13,1	4,2
Tuote 13	1,28	30,19	13	a	10,0	5,2
Tuote 14	1,28	31,46	14	a	4,4	11,7
Tuote 15	1,24	32,7	15	a	4,9	10,6
Tuote 16	1,24	33,94	16	a	21,1	0,4
Tuote 17	1,12	35,06	17	a	28,8	1,6
Tuote 18	1,08	36,14	18	a	16,0	3,3
Tuote 19	1,08	37,23	19	a	8,1	6,7
Tuote 20	1,07	38,3	20	a	17,3	2,8
Tuote 21	1,05	39,35	21	a	9,5	5,8
Tuote 22	1,04	40,39	22	a	5,8	19,0
Tuote 23	1,02	41,41	23	a	8,4	7,2
Tuote 24	0,95	42,36	24	a	8,7	6,0
Tuote 25	0,9	43,26	25	a	44,5	1,1
Tuote 26	0,88	44,13	26	a	22,6	2,3
Tuote 27	0,82	44,95	27	a	5,2	9,3
Tuote 28	0,81	45,76	28	a	26,5	1,8
Tuote 29	0,8	46,56	29	a	12,5	4,2
Tuote 30	0,8	47,36	30	a	10,5	4,9
Tuote 31	0,79	48,15	31	a	7,5	6,9
Tuote 32	0,77	48,92	32	a	25,3	2,1
Tuote 33	0,77	49,69	33	a	13,4	3,2
Tuote 34	0,77	50,46	34	a	26,8	1,6
Tuote 35	0,76	51,22	35	a	27,0	1,7
Tuote 36	0,76	51,98	36	a	24,2	3,3
Tuote 37	0,74	52,71	37	a	6,9	7,5
Tuote 38	0,7	53,41	38	a	10,7	5,5
Tuote 39	0,69	54,1	39	a	6,3	11,1
Tuote 40	0,69	54,79	40	a	20,8	2,9

Tuote 41	0,68	55,48	41	a	6,5	8,0
Tuote 42	0,66	56,14	42	a	4,9	2,2
Tuote 43	0,65	56,79	43	a	3,3	15,7
Tuote 44	0,62	57,41	44	a	16,2	4,4
Tuote 45	0,6	58,02	45	a	10,5	7,5
Tuote 46	0,57	58,59	46	a	3,3	16,2
Tuote 47	0,56	59,15	47	a	13,0	3,3
Tuote 48	0,55	59,69	48	a	4,7	11,0
Tuote 49	0,54	60,23	49	a	4,7	4,3
Tuote 50	0,52	60,75	50	a	2,7	19,5
Tuote 51	0,51	61,26	51	a	6,4	5,3
Tuote 52	0,5	61,76	52	a	12,3	4,3
Tuote 53	0,5	62,26	53	a	9,0	6,1
Tuote 54	0,49	62,76	54	a	19,0	4,8
Tuote 55	0,49	63,24	55	a	6,3	7,4
Tuote 56	0,47	63,71	56	a	4,1	12,7
Tuote 57	0,47	64,18	57	a	4,7	11,1
Tuote 58	0,47	64,65	58	a	19,3	2,7
Tuote 59	0,46	65,11	59	a	8,1	9,7
Tuote 60	0,46	65,57	60	a	8,7	5,9
Tuote 61	0,46	66,03	61	a	6,0	8,6
Tuote 62	0,45	66,48	62	a	11,1	6,8
Tuote 63	0,45	66,93	63	a	12,2	4,3
Tuote 64	0,44	67,37	64	a	5,3	16,8
Tuote 65	0,43	67,8	65	a	5,1	10,2
Tuote 66	0,42	68,22	66	a	5,8	3,2
Tuote 67	0,41	68,63	67	a	5,1	10,2
Tuote 68	0,4	69,04	68	a	6,7	7,7
Tuote 69	0,4	69,44	69	a	5,7	9,4
Tuote 70	0,39	69,83	70	a	15,0	4,8
Tuote 71	0,38	70,2	71	a	5,1	17,3
Tuote 72	0,38	70,58	72	a	8,6	6,6
Tuote 73	0,37	70,96	73	a	5,2	9,2
Tuote 74	0,36	71,32	74	a	4,6	11,6
Tuote 75	0,36	71,68	75	a	3,7	14,1
Tuote 76	0,36	72,04	76	a	3,3	15,8
Tuote 77	0,35	72,39	77	a	9,8	6,0
Tuote 78	0,34	72,73	78	a	6,5	9,0
Tuote 79	0,34	73,07	79	a	4,7	12,1
Tuote 80	0,34	73,41	80	a	7,9	5,5
Tuote 81	0,33	73,74	81	a	7,0	7,4
Tuote 82	0,33	74,07	82	a	4,9	10,3
Tuote 83	0,32	74,39	83	a	7,3	7,1
Tuote 84	0,32	74,71	84	a	4,7	9,6
Tuote 85	0,31	75,02	85	a	4,7	19,2
Tuote 86	0,3	75,32	86	a	6,4	8,5

Tuote 87	0,3	75,62	87	a	4,1	12,1
Tuote 88	0,3	75,93	88	a	7,1	8,3
Tuote 89	0,28	76,21	89	a	10,4	5,4
Tuote 90	0,28	76,49	90	a	9,2	5,7
Tuote 91	0,28	76,77	91	a	7,5	12,3
Tuote 92	0,27	77,04	92	a	2,4	24,1
Tuote 93	0,26	77,3	93	a	6,8	7,7
Tuote 94	0,26	77,55	94	a	4,1	9,7
Tuote 95	0,25	77,81	95	a	3,2	15,4
Tuote 96	0,25	78,06	96	a	11,7	7,4
Tuote 97	0,25	78,31	97	a	2,8	11,8
Tuote 98	0,25	78,55	98	a	6,3	8,3
Tuote 99	0,25	78,8	99	a	6,9	9,6
Tuote 100	0,24	79,04	100	a	6,5	8,0
Tuote 101	0,24	79,28	101	a	4,8	10,9
Tuote 102	0,24	79,51	102	a	6,1	8,5
Tuote 103	0,23	79,75	103	a	2,9	25,6
Tuote 104	0,23	79,97	104	a	6,2	8,4
Tuote 105	0,23	80,2	105	a	1,7	19,0

LIITE 2: 2018 NIMIKKEIDEN ANALYYSIT

Taulukko 22. *Nimikkeiden A-luokan ABC-analyysi, kiertonopeus ja riitto 2018*

Nimi	% kok. Myynnistä	% kumul. Myynnistä	Järjno	Luokka	Kierto- nopeus	Riitto/ vkoa
Tuote 1	4,62 %	4,62 %	1	a	1,7	39,6
Tuote 2	3,59 %	8,21 %	2	a	9,8	4,2
Tuote 3	3,07 %	11,29 %	3	a	12,6	3,7
Tuote 4	3,01 %	14,30 %	4	a	8,1	7,6
Tuote 5	2,23 %	16,53 %	5	a	4,3	9,0
Tuote 6	2,00 %	18,53 %	6	a	34,7	2,2
Tuote 7	1,95 %	20,48 %	7	a	15,2	1,4
Tuote 8	1,57 %	22,05 %	8	a	7,2	5,5
Tuote 9	1,55 %	23,60 %	9	a	15,7	5,0
Tuote 10	1,54 %	25,14 %	10	a	22,2	2,3
Tuote 11	1,53 %	26,67 %	11	a	9,4	5,3
Tuote 12	1,45 %	28,11 %	12	a	5,7	1,5
Tuote 13	1,40 %	29,52 %	13	a	48,8	1,0
Tuote 14	1,27 %	30,79 %	14	a	18,7	2,9
Tuote 15	1,16 %	31,95 %	15	a	25,2	1,9
Tuote 16	1,16 %	33,10 %	16	a	14,5	3,9
Tuote 17	1,09 %	34,20 %	17	a	6,0	8,5
Tuote 18	1,06 %	35,25 %	18	a	1,7	2,7
Tuote 19	1,03 %	36,28 %	19	a	18,8	2,9
Tuote 20	0,95 %	37,23 %	20	a	5,0	19,9
Tuote 21	0,90 %	38,13 %	21	a	47,9	1,1
Tuote 22	0,90 %	39,03 %	22	a	69,9	0,7
Tuote 23	0,90 %	39,92 %	23	a	11,9	4,5
Tuote 24	0,87 %	40,79 %	24	a	16,9	3,1
Tuote 25	0,86 %	41,66 %	25	a	5,7	7,7
Tuote 26	0,86 %	42,51 %	26	a	0,0	-0,2
Tuote 27	0,82 %	43,33 %	27	a	14,8	3,5
Tuote 28	0,81 %	44,14 %	28	a	23,4	0,7
Tuote 29	0,80 %	44,94 %	29	a	86,1	0,6
Tuote 30	0,77 %	45,71 %	30	a	7,2	5,6
Tuote 31	0,75 %	46,46 %	31	a	18,7	2,7
Tuote 32	0,75 %	47,20 %	32	a	6,0	9,8
Tuote 33	0,73 %	47,94 %	33	a	60,5	0,8
Tuote 34	0,69 %	48,62 %	34	a	21,8	2,1
Tuote 35	0,67 %	49,29 %	35	a	15,9	3,7
Tuote 36	0,66 %	49,95 %	36	a	3,6	13,2
Tuote 37	0,65 %	50,60 %	37	a	19,5	4,0
Tuote 38	0,65 %	51,26 %	38	a	27,6	2,5
Tuote 39	0,63 %	51,89 %	39	a	9,0	6,3
Tuote 40	0,63 %	52,52 %	40	a	19,9	3,0

Tuote 41	0,63 %	53,15 %	41 a	873,0	0,1
Tuote 42	0,62 %	53,76 %	42 a	10,9	4,9
Tuote 43	0,61 %	54,38 %	43 a	3,6	17,4
Tuote 44	0,61 %	54,98 %	44 a	2757,7	0,0
Tuote 45	0,59 %	55,57 %	45 a	963,7	0,0
Tuote 46	0,59 %	56,16 %	46 a	6,5	3,9
Tuote 47	0,58 %	56,73 %	47 a	13,2	3,8
Tuote 48	0,56 %	57,29 %	48 a	20,8	2,3
Tuote 49	0,53 %	57,82 %	49 a	24,8	2,1
Tuote 50	0,53 %	58,35 %	50 a	209,8	0,4
Tuote 51	0,51 %	58,86 %	51 a	20,5	2,4
Tuote 52	0,50 %	59,36 %	52 a	12,7	3,7
Tuote 53	0,50 %	59,86 %	53 a	217,4	0,2
Tuote 54	0,50 %	60,36 %	54 a	16,7	2,6
Tuote 55	0,50 %	60,86 %	55 a	15,1	4,6
Tuote 56	0,49 %	61,34 %	56 a	2,6	19,7
Tuote 57	0,47 %	61,81 %	57 a	13,9	2,3
Tuote 58	0,47 %	62,28 %	58 a	8,8	5,5
Tuote 59	0,46 %	62,74 %	59 a	5,4	9,3
Tuote 60	0,46 %	63,20 %	60 a	8,8	6,1
Tuote 61	0,46 %	63,66 %	61 a	3,6	17,4
Tuote 62	0,45 %	64,10 %	62 a	8,0	6,3
Tuote 63	0,44 %	64,54 %	63 a	6,3	13,5
Tuote 64	0,44 %	64,98 %	64 a	8,2	9,7
Tuote 65	0,42 %	65,40 %	65 a	6,1	9,8
Tuote 66	0,42 %	65,82 %	66 a	15,9	6,4
Tuote 67	0,41 %	66,23 %	67 a	8,7	7,3
Tuote 68	0,40 %	66,63 %	68 a	15,0	3,3
Tuote 69	0,40 %	67,02 %	69 a	10,1	7,1
Tuote 70	0,38 %	67,40 %	70 a	9,3	8,7
Tuote 71	0,37 %	67,77 %	71 a	112,7	0,2
Tuote 72	0,37 %	68,15 %	72 a	3,6	3,8
Tuote 73	0,36 %	68,50 %	73 a	5,4	9,2
Tuote 74	0,35 %	68,86 %	74 a	5,0	9,2
Tuote 75	0,35 %	69,21 %	75 a	0,0	-1,7
Tuote 76	0,35 %	69,56 %	76 a	269,3	0,2
Tuote 77	0,33 %	69,89 %	77 a	3,1	15,2
Tuote 78	0,33 %	70,22 %	78 a	5,5	9,0
Tuote 79	0,33 %	70,55 %	79 a	9,8	4,7
Tuote 80	0,32 %	70,87 %	80 a	2,2	22,8
Tuote 81	0,32 %	71,19 %	81 a	12,7	4,0
Tuote 82	0,32 %	71,51 %	82 a	0,0	-0,3
Tuote 83	0,32 %	71,83 %	83 a	0,0	-13,4
Tuote 84	0,31 %	72,14 %	84 a	8,3	10,3
Tuote 85	0,31 %	72,45 %	85 a	6,7	8,1
Tuote 86	0,31 %	72,76 %	86 a	7,7	6,6

Tuote 87	0,30 %	73,06 %	87 a	3,3	15,0
Tuote 88	0,30 %	73,36 %	88 a	9,7	7,2
Tuote 89	0,30 %	73,66 %	89 a	20,5	3,6
Tuote 90	0,29 %	73,95 %	90 a	4,6	11,5
Tuote 91	0,29 %	74,24 %	91 a	4,0	12,2
Tuote 92	0,29 %	74,53 %	92 a	0,0	0,0
Tuote 93	0,29 %	74,82 %	93 a	12,4	4,0
Tuote 94	0,29 %	75,10 %	94 a	10153,2	0,0
Tuote 95	0,29 %	75,39 %	95 a	6,0	8,4
Tuote 96	0,28 %	75,67 %	96 a	4,1	8,1
Tuote 97	0,28 %	75,95 %	97 a	10,2	5,1
Tuote 98	0,28 %	76,23 %	98 a	4,2	11,8
Tuote 99	0,27 %	76,50 %	99 a	10,0	6,5
Tuote 100	0,27 %	76,77 %	100 a	5,4	8,9
Tuote 101	0,27 %	77,03 %	101 a	8,4	2,4
Tuote 102	0,27 %	77,30 %	102 a	7,8	7,1
Tuote 103	0,27 %	77,56 %	103 a	2,6	17,5
Tuote 104	0,26 %	77,83 %	104 a	0,7	40,1
Tuote 105	0,26 %	78,09 %	105 a	5,2	10,2
Tuote 106	0,25 %	78,33 %	106 a	7,1	7,1
Tuote 107	0,24 %	78,57 %	107 a	7,3	8,7
Tuote 108	0,24 %	78,81 %	108 a	4,4	11,4
Tuote 109	0,23 %	79,04 %	109 a	4,5	12,2
Tuote 110	0,23 %	79,27 %	110 a	7,7	6,5
Tuote 111	0,23 %	79,50 %	111 a	3,3	16,0
Tuote 112	0,22 %	79,72 %	112 a	5,9	8,5
Tuote 113	0,22 %	79,94 %	113 a	1,2	41,0
Tuote 114	0,21 %	80,15 %	114 a	4,6	10,7